

Ökologische Untersuchungen an den Alpen- und Wärmepflanzen des oberen Donautales.¹

Von **Otto Martin**, Tübingen.

Mit 37 Abbildungen und 1 Tafel.

Einleitung.

Die mannigfaltige und bedeutsame Pflanzenwelt des oberen Donautales, insbesondere des Schutzgebietes „Stiegelefels“ bei Fridingen (Kreis Tuttlingen), findet in den Arbeiten von K. BERTSCH (1913, 1919) und von E. REBHOLZ (1926) eingehende Behandlung. Dabei wird von beiden Autoren darauf hingewiesen, daß für das Vorkommen von Alpen- und Wärmepflanzen nebeneinander, außer der ausgezeichneten Anpassungsfähigkeit, vor allem die örtlichen mikroklimatischen Verhältnisse von ausschlaggebender Bedeutung sind. Diese mikroklimatischen Standortsunterschiede, sowie die Transpiration und den Wärmehaushalt der Alpen- und Wärmepflanzen auf Grund ökologischer Untersuchungen zu erforschen, soll die Aufgabe vorliegender Abhandlung sein.

Als G. KRAUS (1911) durch seine Arbeit „Über Boden und Klima auf kleinstem Raum“ den Begriff des Mikroklimas schuf, wurde sowohl der Meteorologie, wie der Botanik ein neues Arbeitsgebiet gegeben. Durch Arbeiten von R. GEIGER, W. SCHMIDT u. a. wurde die meteorologische Erforschung der bodennahen Luftschicht weitgehend gefördert. Andererseits arbeiteten STOCKER, SCHADE, LEICK, FIRBAS, FILZER u. a. an dem Werk von KRAUS weiter, indem sie ihre mikroklimatischen Untersuchungen im Dienste der Botanik durchführten. Es zeigte sich, daß Mikroklima und Pflanze in wechselseitiger Beziehung zu einander stehen und diese Erkenntnis trug dann dazu bei, die mikroklimatische Forschung als einen wesentlichen Faktor in die Pflanzenökologie einzuführen. Da nun die Ökologie großen Wert auf systematisch durchgeführte fortlaufende Messungen legt, wurden zur Klärung der Beziehungen zwischen den Alpen- und Wärmepflanzen und ihrem Mikroklima an verschiedenen Punkten mit verschiedenen Standortbedingungen Vergleichsmessungen angestellt. Dabei war es notwendig, Bewölkungs- und andere atmosphärische Schwankungen möglichst auszuschalten, was durch ein rasch aufeinanderfolgendes, nahezu gleichzeitiges Ablesen der Beobachtungsstationen geschah. Um die experimentellen Untersuchungen im Gelände von möglichst allen Abweichungen zu befreien, fanden die Messungen während eines ganzen Jahres und bei den verschiedensten Witterungen statt. Die Ausschaltung der Schwankungen, welche durch die Atmosphäre, den Witterungswechsel, oder den Wechsel in der Jahreszeit bedingt sind, war notwendig für eine exakte Beur-

¹ Erschienen als Dissertation der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Tübingen.

teilung der Beziehungen, welche zwischen dem Mikroklima und den Pflanzen der verschiedenen Standorte auftreten.

Für die Transpirationmessungen und die Messungen der Gewebetemperaturen der Alpen- und Wärmepflanzen sind die mikroklimatischen Untersuchungen von großer Bedeutung, insbesondere für letztere, welche eine genaue Kenntnis des Mikroklimas voraussetzen. Aber nicht die Temperatur der Umgebung, sondern die Körpertemperatur der Pflanze spielt die maßgebende Rolle in ihrem Entwicklungsgang und im Verlauf ihrer Lebensprozesse. Bisher haben hierüber kaum ausführliche Messungen stattgefunden. Die einzigen fortlaufenden Untersuchungen am natürlichen Standort, die sich nicht nur auf einige Einzelwerte beschränken, wurden von FRITZSCHE (1933) auf Hiddensee und von MICHAELIS (1934) an der alpinen Baumgrenze ausgeführt. Vor allem liegen aber noch keine Untersuchungen aus einem extrem xerothermen Gebiet und aus der Zone der stärksten Erwärmung, der Bodenoberfläche, vor. Die im oberen Donautal ausgeführten planmäßigen Messungen der Pflanzentemperatur sollen deshalb einen Einblick in die Körpertemperatur zweier ökologisch gegensätzlicher Pflanzengruppen, der Alpen- und Wärmepflanzen, geben. Weiterhin sollen sie einen Beitrag liefern zur Frage des Wärmehaushaltes der Pflanzen an einem wesentlich extremeren Standort, als es das Arbeitsgebiet von FRITZSCHE auf Hiddensee darstellt.

Abschnitt I.

Über das Gebiet und seine Pflanzen.

A. Allgemeines über das Gebiet.

Lage. Das Schutzgebiet „Stiegelefelds“, welches zu den mikroklimatischen Messungen, wie auch zu den Messungen der Transpiration und der Blattertemperaturen ausgesucht wurde, liegt in einer U-förmigen Durchbruchsschlinge der Donau durch die Kalke des weißen Jura bei Fridingen (Kreis Tuttlingen). Durch diese U-Form erhält das Gebiet eine sehr geschützte Lage. Nach Norden schließen bis 150 m hohe Felswände (s. Abb. 1 auf Tafel I) das Tal ab und verhindern das Eindringen der kalten Nordwinde; ferner werden die kalten West- und Ostwinde durch die Seitenriegel aufgehalten, so daß nur die wärmeren Südwinde über die etwas niedrigere Südseite des Tales zu unseren Pflanzen gelangen können. Auf der Höhe dagegen ist immer bewegte Luft zu verzeichnen.

Klima. Die Fridinger Alb und somit das Schutzgebiet ist ausgezeichnet durch einen langen Winter mit tiefen Temperaturen, einen kurzen Frühling und Herbst und einen Sommer mit hohen Tages- und niedrigen Nachttemperaturen. Während das tiefe Tal der Donau und die Seitentäler tiefe Nachttemperaturen aufweisen, trifft dies für die Hänge nicht zu; es bildet sich die Temperaturumkehr, welche für die Pflanzen und ihre Standorte von großer Bedeutung ist und uns später noch beschäftigen wird. Frostnächte und Niederschlagsarmut sind ferner noch für die Fridinger Alb bezeichnend.

Wie ist es aber möglich, daß hier im Schutzgebiet „Stiegelefels“ zwei vollkommen verschiedene, ja sogar gegensätzliche Pflanzengruppen wie die Gebirgs- und Wärmepflanzen nebeneinander vorkommen können? Als Antwort möchte ich die Anschauungen zweier Autoren anführen, welche zur Grundlage meiner mikroklimatischen Untersuchungen wurden. REBHOLZ berichtet in seiner nur zu wenig bekannten Arbeit: „Die Pflanzenwelt der Fridinger Alb mit Berücksichtigung ihres Schutzgebiets (1926)“ hierüber folgendes:

„Wenn nun trotz manch ungünstiger Einflüsse klimatischer Faktoren die Pflanzenwelt der Fridinger Alb eine so bedeutsame ist, wenn neben Gebirgs-pflanzen auch Wärmepflanzen vorkommen, so muß das seine Gründe haben. Die eingehende Prüfung einer Reihe von Standorten mit Pflanzen obengenannter Gruppen ergab, daß neben der großen Anpassungsfähigkeit der Pflanze die örtlichen Unterschiede von Klima und Boden auf kleinstem Raum von ausschlaggebender Bedeutung sind.“

Noch vor REBHOLZ wies BERTSCH („Über die Wärmepflanzen des oberen Donautales, 1919“) auf diese mikroklimatischen Verhältnisse hin. Er schreibt in seiner Arbeit:

„Im allgemeinen gilt das Klima der Alb als rau und kalt, und nicht mit Unrecht ist der Name ‚Rauhe Alb‘ so weit verbreitet. Wer gar die Temperaturkurven der Wetterkarten betrachtet, wird kaum auf den Gedanken kommen, daß hier südliche Pflanzen gedeihen könnten. Aber für uns handelt es sich nicht um die Schattentemperaturen der Hochfläche, welche die Meteorologie auf ihren Karten einzeichnet, sondern um die lokalen Wärmeverhältnisse unserer Pflanzenstandorte in voller Sonne. Diese Gewächse, welche in wärmeren Gegenden Heiden und Sandflächen besiedeln, haben sich im Donautal in die Felsen zurückgezogen, welche sie, auf den Gesimsen und Rissen wurzelnd, spalierartig überziehen, oder vor denen sie wachsen wie fremdländische Zierblumen auf unseren Fensterbrettern. Die Felsen nehmen aus voller Kraft die Sonne auf, und das der Erwärmung so ungemein zugängliche Kalkgestein bildet nun eine zweite Wärmequelle, welche lokale Wärmeinseln in den Falten und Nischen der Steilwände erzeugt. Nur wer hier an heißen Sommertagen stundenlang herumklettert, zwischen der glühenden Sonne und den wie Backofen strahlenden Kalkwänden, kennt diese örtlichen Verhältnisse, die keine Wetterkarte wiedergibt.“

Aufgabe der mikroklimatischen Untersuchungen vorliegender Arbeit ist es, diese örtlichen Verhältnisse zu erfassen. Es soll gezeigt werden, daß trotz der großen Anpassungsfähigkeit diese Gebirgs- und Wärmepflanzen in engster Beziehung zu ihrem Mikroklima stehen.

B. Die verschiedenen Pflanzen.

Die Wärmepflanzen verleihen gemeinsam mit den Alpenpflanzen dem oberen Donautal und speziell dem Schutzgebiet Stiegelefels ein charakteristisches Gepräge und kennzeichnen dasselbe sowohl durch ihren Artenreichtum wie durch ihre Besiedlungsdichte als die wichtigste Zufluchtsstätte unserer Schwäbischen Alb. Ein ausführliches Verzeichnis der Pflanzen des Schutzgebiets und seiner näheren Umgebung finden wir bei REBHOLZ (1926), deshalb genügt an dieser Stelle die Wiedergabe der im Schutzgebiet selbst vorkommenden Alpen- und Wärmepflanzen.

1. Die Alpenpflanzen des Schutzgebiets Stiegelefelds.

An folgenden alpinen Reliktpflanzen des Schutzgebiets wurden die ökologischen Untersuchungen angestellt:

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1. <i>Androsace lactea</i> , | 6. <i>Euphrasia salisburgensis</i> , |
| 2. <i>Anemone narcissiflora</i> , | 7. <i>Hieracium bupleuroides</i> , |
| 3. <i>Campanula pusilla</i> , | 8. <i>Hieracium humile</i> JACQ., |
| 4. <i>Cochlearia saxatilis</i> , | 9. <i>Saxifraga aizoon</i> . |
| 5. <i>Draba aizoides</i> , | |

2. Die Wärmepflanzen des Schutzgebiets Stiegelefelds.

Die empfindlichsten Pflanzen der Steppenheide werden unter dem Namen Wärmepflanzen zusammengefaßt. Sie erhielten ihren Namen deshalb, weil sie vorwiegend Standorte mit großer Wärme und Trockenheit bevorzugen. Diese ausgesprochenen Wärmepflanzen, welche meistens noch recht zahlreich im Schutzgebiet vorkommen, sind:

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1. <i>Allium montanum</i> , | 8. <i>Dianthus caesius</i> , |
| 2. <i>Arabis pauciflora</i> , | 9. <i>Lactuca perennis</i> , |
| 3. <i>Arabis turrita</i> , | 10. <i>Leontodon incanus</i> , |
| 4. <i>Asperugo procumbens</i> , | 11. <i>Melica ciliata</i> ssp. <i>nebro-</i>
<i>densis</i> , |
| 5. <i>Carex humilis</i> , | 12. <i>Sisymbrium austriacum</i> , |
| 6. <i>Coronilla vaginalis</i> , | 13. <i>Stipa pennata</i> . |
| 7. <i>Daphne cneorum</i> , | |

Abschnitt II.

Über die mikroklimatischen Standortverhältnisse der Alpen- und Wärmepflanzen.

A. Methodik.

1. **Apparatur.** Zur Messung der bodennahen Luftschicht wurde ein Meßgerät gebaut, das im Grundgedanken auf dem von GEIGER und BÜDEL (1929, S. 265) beruht. Jedoch war es notwendig, bei der Herstellung auf Einfachheit, Festigkeit und Handlichkeit zu achten. Dabei ergaben sich einige wesentliche Änderungen, die sich bei meiner ganzen Arbeit als sehr vorteilhaft erwiesen und die ich nachfolgend näher beschreiben möchte.

Der 1,50 m lange Eisenstab ist aus einem Stück; auf die Zusammenlegbarkeit wurde im Interesse der Festigkeit verzichtet. Eine Verschlechterung der Transportmöglichkeit durch die Länge dieser Führungsstäbe trat aber keineswegs ein, da dieselben in einer Tasche Aufnahme fanden, welche nach Art eines Gewehres umgehängt werden konnte. Das Anbringen eines Dreifußes war nicht notwendig, weil das Gelände stets das Einrammen des Stabes bis zu dem an seinem unteren Ende befestigten Bodenteller ermöglichte (s. Abb. 2).

An dem Führungsstab können in beliebiger Anzahl die Befestigungsklammern für die Thermometer angebracht werden (s. Abb. 3). Diese Klammern sind durch eine Schraube an dem Führungsstab befestigt und können dadurch in horizontaler und vertikaler Richtung verschoben werden; ferner bewirkt noch ein Gelenk die Drehung um die horizontale Achse. Die vorne befindliche selbstschließende Klemme ermöglicht nicht nur das Befestigen der Thermometer, der Evaporimeter und Hygrometer, sondern vor allen Dingen auch ein schnelles Aufbauen und Auswechseln der Instrumente.

2. Die Meßgeräte. Zur Messung der Temperatur der bodennahen Luftschicht sowie der Bodenoberfläche standen 20 Quecksilberthermometer mit $\frac{1}{5}^{\circ}$ -Einteilung und einem Meßbereich von -10° bis $+60^{\circ}$ C zur Verfügung. Von großem Vorteil für die Ablesung war, daß der größte Teil dieser Thermometer mit einem rot leuchtenden Quecksilberfaden versehen war. Weiterhin fanden 5 Maximum-Thermometer mit $\frac{1}{2}^{\circ}$ -Einteilung, rotem Quecksilberfaden und einem Meßbereich von -20° bis $+52^{\circ}$ C Verwendung. Zur Messung der Bodentemperaturen wurden 5 Quecksilberthermometer benutzt, welche zu diesem Zweck mit einem 10 cm langen Fuß ausgestattet waren, sonst aber ebenfalls $\frac{1}{5}^{\circ}$ -Einteilung, einen roten Quecksilberfaden und einen Meßbereich von -10° bis $+60^{\circ}$ aufwiesen. Um ein eventuelles Abweichen eines Thermometers und die dadurch entstehenden Fehler auszuschalten, wurden sämtliche Thermometer von Zeit zu Zeit miteinander verglichen.

Die absolute Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit wurden mit dem Abmannschen Aspirationspsychrometer gemessen, während die Messungen der relativen Feuchtigkeit an den verschiedenen Stationen mit Haarhygrometern erfolgten. Da es bei den Versuchen darauf ankam, die relative Feuchtigkeit einer möglichst kleinen Luftschicht zu erfassen, waren an den Hygrometern die Haare nicht vertikal, sondern nahezu horizontal angeordnet (vgl. FILZER 1933, S. 80). Obwohl die mit diesen Hygrometern erhaltenen Einzelwerte nicht vollkommen zuverlässig sind, ergaben sie doch verhältnismäßig genaue Vergleichswerte der

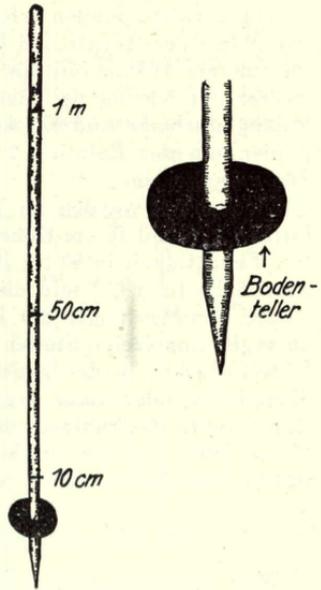


Abb. 2.

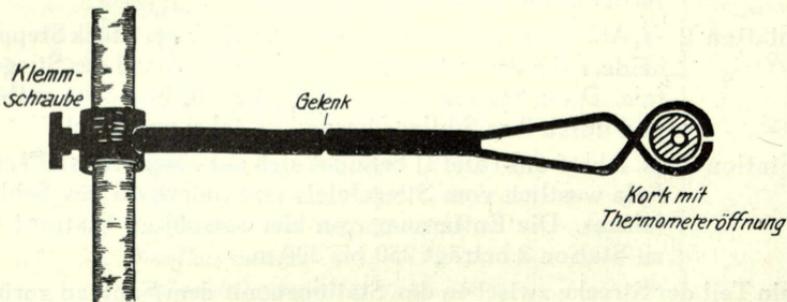


Abb. 3.

relativen Luftfeuchtigkeit der verschiedenen mikroklimatischen Stationen. Wir betrachten also mit diesen Hygrometern nicht die genaue relative Feuchtigkeit, sondern nur den Feuchtigkeitsunterschied zwischen den einzelnen Stationen. Die Genauigkeit dieser Werte wurde durch jeweiliges Vergleichen der Hygrometer vor Beginn der Versuche noch erhöht.

Die Windstärke wurde mit einem Schalenkreuz-Anemometer und die Evaporation mit Evaporimetern nach PICHE gemessen, welche mit der von WALTER empfohlenen grünen Filtrierpapierscheibe von 3 cm Durchmesser versehen waren.

Die Lichtmessungen erfolgten zunächst, mangels eines anderen Meßgerätes, mit dem Eder-Hechtschen Graukeilphotometer. Erst bei den Untersuchungen im Sommer 1936 stand mir außerdem noch ein lichtelektrischer Beleuchtungsmesser zur Verfügung. Bei den Versuchen wurden Graukeil-Photometer mit Milchglasscheibe und Keilkonstanten 0,401 verwendet welche mit Chlorsilberpapier von der Relation 1 : 1 nach DORNO das Strahlungsgebiet von 440 bis 366 $\mu\mu$ anzeigen.

Beobachtet wurden im Verlauf der Messungsreihen die Temperaturen der Luft in 1 m und 10 cm Höhe, die Evaporation in 1 m und 10 cm Höhe, die relative Feuchtigkeit in 50 cm Höhe, die Temperatur unmittelbar unter der Bodenoberfläche (u. u. O.) und die Bodentemperatur in 10 cm Tiefe.

Bei den Messungen der Temperatur unmittelbar unter der Oberfläche wurde an vegetationsfreien Stellen das Quecksilbergefäß des Thermometers leicht mit Erde bedeckt. In den meisten Fällen jedoch war dasselbe in der Gras- oder Moosdecke, oder unter den Blättern von *Saxifraga aizoon* so angebracht, daß eine direkte Bestrahlung unmöglich war. Um die Thermometer in 1 m und in 10 cm Höhe vor der direkten Sonnenbestrahlung zu schützen, waren sie mit BUDIG-Schirmen versehen (vgl. BUDIG, 1917).

B. Die mikroklimatischen Beobachtungsstationen.

Zur Erforschung der Beziehungen zwischen dem Mikroklima und den Alpen- und Wärmepflanzen des oberen Donautales wurden im Schutzgebiet Stiegelefels drei Standorte ausgesucht, von denen zwei vorwiegend alpine Pflanzen aufweisen, der andere Standort jedoch ausgesprochenen Steppenheidecharakter besitzt.

1. Lage.

Station 1 (s. Abb. 4 auf Tafel I) liegt zwischen dem Stiegelefels und der Donau, inmitten teilweise bewachsener Felsstücke und in der Nähe einer Fichtengruppe.

Station 2 (s. Abb. 5 auf Tafel I) befindet sich auf einem Stück Steppenheide, nahe der senkrecht aufsteigenden Wand des Stiegelefels. Diese Station ist von Station 1 100 bis 150 m entfernt und durch ihre Südlage besonders gekennzeichnet.

Station 3 (s. Abb. 6 auf Tafel I) befindet sich auf einem freistehenden Fels westlich vom Stiegelefels und unterhalb des Schloßfelsens. Die Entfernung von hier sowohl zu Station 1 wie zu Station 2 beträgt 250 bis 300 m.

Da ein Teil der Strecke zwischen den Stationen mit dem Fahrrad zurückgelegt werden konnte, war es bei diesen Messungen möglich, die Meßgeräte in der zu Vergleichszwecken noch verwertbaren Zeit von 15 Minuten abzulesen.

2. Die Standortflora. Zur näheren Charakterisierung der Flora an den einzelnen Stationen sollen die nach der BRAUN-BLANQUETSchen Kombinationsskala erhaltenen soziologischen Aufnahmen dienen. Da in größeren Bestandesflächen verschiedene Mikroklimata auftreten, habe ich auf eine größere Bestandesaufnahme verzichtet. Die soziologischen Aufnahmen erfassen nur diese Flächen, welche durch ihre Ex-

position und die Oberflächengestalt des Bodens eine mikroklimatische Einheit darstellen und von den mikroklimatischen Messungen erfaßt werden. Bestandesgröße und Größe der Probefläche sind also gleich. Die floristische Zusammensetzung der einzelnen Standorte zeigt folgendes Bild:

Tabelle 1.

Station 1 / 21.8.35		Deckungsgrad	Soziabilität
Exposition und Neigung Fläche qm Vegetationsbedeckung %	Hor. 3 100		
<i>Knautia silvatica</i>		+	1
<i>Saxifraga aizoon</i>		3	4
<i>Sesleria caerulea</i>		2	2
<i>Hylocomium splendens</i>		2	3
<i>Rhytidium rugosum</i>		3	4
<i>Anomodon viticulosus</i>		+	1

Tabelle 2.

Station 2 / 21.8.35		Deckungsgrad	Soziabilität
Exposition und Neigung Fläche qm Vegetationsbedeckung %	S. 45° 5 75		
<i>Allium montanum</i>		+	1
<i>Asplenium ruta muraria</i>		+	1
<i>Asplenium trichomanes</i>		+	1
<i>Carduus defloratus</i>		+	1
<i>Chrysanthemum leucanthemum</i>		+	1
<i>Dianthus caesius</i>		1	1
<i>Euphorbia cyparissias</i>		+	2
<i>Festuca ovina var. glauca</i>		3	4
<i>Hippocrepis comosa</i>		1	2
<i>Hypericum perforatum</i>		+	1
<i>Melica ciliata ssp. nebrodensis</i>		+	1
<i>Saxifraga aizoon</i>		+	1
<i>Sedum album</i>		2	4
<i>Teucrium chamaedris</i>		+	1
<i>Vincetoxicum officinale</i>		+	1
<i>Rhytidium rugosum</i>		4	4

Tabelle 3.

Station 3 / 21.8.35		Deckungsgrad	Soziabilität
Exposition und Neigung	SW. 25°		
Fläche	qm 4		
Vegetationsbedeckung %	50		
<i>Allium montanum</i>		+	1
<i>Festuca ovina</i> var. <i>glauca</i>		3	3
<i>Rumex scutatus</i>		+	1
<i>Saxifraga aizoon</i>		3	4
<i>Sedum album</i>		1	2
<i>Thymus serpyllum</i>		+	1
<i>Hypnum cupressiforme</i>		+	1
<i>Rhytidium rugosum</i>		1	2

Wie wir aus den soziologischen Aufnahmen ersehen, wurden die Untersuchungen über das Mikroklima der Alpenpflanzen an Station 1 und Station 3 ausschließlich in Beständen von *Saxifraga aizoon* durchgeführt. *Saxifraga aizoon*, die häufigste aller Alpenpflanzen im oberen Donautal, findet sich im Schutzgebiet noch sehr zahlreich und, was von besonderer Wichtigkeit ist, nicht vereinzelt, sondern in schönen großen Beständen, welche einer Untersuchung der Standortverhältnisse außerordentlich günstig sind. Ein weiterer wesentlicher Punkt ist der, daß sämtliche alpinen Pflanzen des Donautales, besonders *Draba aizoides*, *Hieracium humile* und *Hieracium bupleuroides*, ein Verhalten zeigen, das dem von *Saxifraga aizoon* äußerst ähnlich ist. Die mikroklimatischen Untersuchungen haben deshalb nicht nur speziell für *Saxifraga aizoon*, sondern für alle Alpenpflanzen dieses Gebietes Geltung.

C. Die mikroklimatischen Messungen.

a) Temperatur.

1. Über die Temperaturverhältnisse an den Beobachtungsstationen und ihre Wirkung auf die Standortflora.

Unterzieht man die Standortverhältnisse einer scharfen Betrachtung, dann werden die mikroklimatischen Unterschiede zwischen den einzelnen Stationen, bereits ohne Anwendung von Messungen, erkenntlich. Dies zeigt uns z. B. eine Beobachtung vom 11. März 1935. Während an diesem Tage die Alpenpflanzen an Station 1 unter einer 5 bis 10 cm hohen Schneedecke ruhten, war Station 2 schon seit längerer Zeit schneefrei und der Boden erheblich warm; die Station 3 wies zwar ebenfalls keine Schneedecke mehr auf, jedoch war der Boden vom Schmelzwasser noch ganz durchnäßt. Diese mikroklimatischen Unterschiede, welche durch das Vorhandensein und Fehlen der Schneedecke klar sichtbar wurden,

weisen auf den verschiedenen Wärmegenuß hin, den wir an Standorten mit vorwiegender Besiedelung durch Alpenpflanzen (Station 1 und 3) bzw. durch Pflanzen der Steppenheide (Station 2) vorfinden. Ein genaues Bild von dem unterschiedlichen Wärmegenuß der Beobachtungsstationen bekommen wir jedoch erst durch vergleichende Betrachtung der Luft- und Bodentemperaturen an den Stationen 1, 2 und 3.

Beginnen wir mit den Temperaturen der bodennahen Luftschicht. Je größer der Abstand von der Bodenoberfläche ist, desto geringer werden die Temperaturunterschiede zwischen den einzelnen Stationen. Aber dennoch zeigt der Temperaturverlauf in 10 cm und 1 m Höhe (s. Abb. 7)

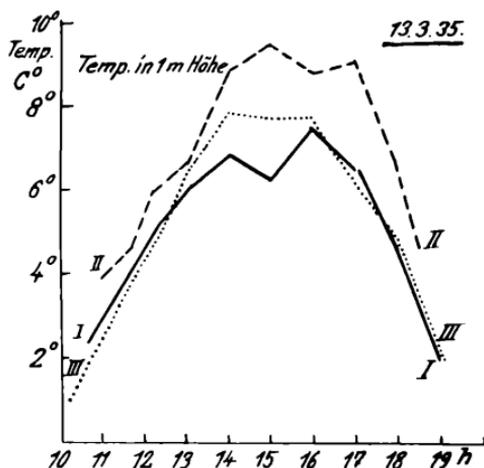


Abb. 7. Der Temperaturverlauf in 1 m Höhe an den drei verschiedenen Stationen.

an Station 2 größere Werte als an den beiden anderen Stationen, während die niedersten Lufttemperaturen an Station 1 herrschen. Der größere Wärmeumsatz an Station 2 im Vergleich zu den beiden anderen Stationen, den Standorten von *Saxifraga aizoon*, kommt besonders in den Bodentemperaturen zum Ausdruck. Zur Bestimmung der Temperatur unmittelbar unter der Oberfläche wurden die Thermometer an Station 1 und 3 unter den Blättern von *Saxifraga aizoon* und an Station 2 in einer leichten Decke von *Rhytidium rugosum* angebracht. Abb. 8 stellt nun den Temperaturgang unmittelbar unter der Oberfläche dar. Es erfolgt zunächst in den Morgenstunden eine starke Erwärmung an Station 3. Dies rührt daher, daß diese Station durchschnittlich eine Stunde vor den beiden anderen Stationen in den Bereich der Sonne und damit der Insolation kommt. Aber schon nach kurzer Zeit stellt Station 2 wieder die höchsten Temperaturen. Der gleiche Erwärmungsvorgang, nur viel langsamer und gemäßigter, geht in 10 cm Tiefe des Bodens vor sich (s. Abb. 9). Sowohl hier, wie im Temperaturverlauf unmittelbar unter der Oberfläche, tritt das starke Zurücktreten der Bodentemperaturen von Station 1 in Erscheinung.

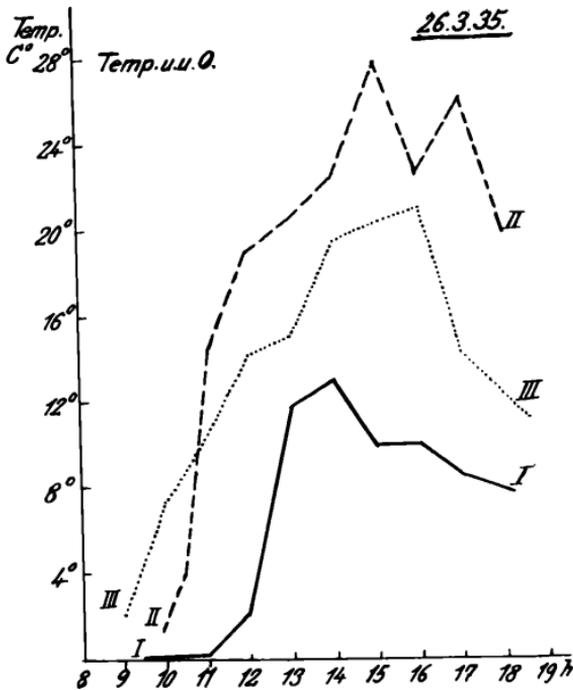


Bild 8. Der Temperaturgang unmittelbar unter der Bodenoberfläche an den Beobachtungsstationen.

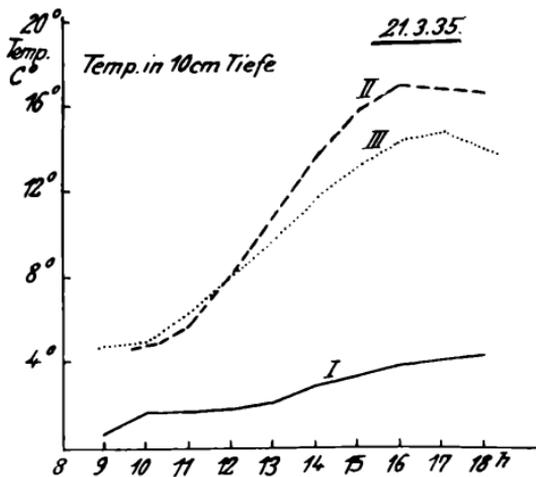


Abb. 9. Der Temperaturgang in 10 cm Tiefe des Bodens.

Daß es sich bei den bisher angeführten Messungen nicht um Zufallsmessungen handelt, welche die Station 2 als Ort größten Wärmeumsatzes erscheinen lassen, geht aus Abb. 10 bis 13 hervor. In diesen ist der jahreszeitliche Temperaturgang in Kurven dargestellt, welche die Höchstwerte aus den monatlichen Messungsreihen wiedergeben. Sie lassen

deutlich die starke Erwärmung erkennen, welche im Frühjahr die tiefen Wintertemperaturen ablöst. Dieser Temperaturanstieg endet im März mit einem Maximum, das durch die in den darauffolgenden Monaten April und Mai herrschende feuchte und kühle Witterung bedingt ist. Im Juni findet die Erwärmung ihren Fortgang und führt im Juli zur Ausbildung des zweiten Maximums mit den sommerlichen Höchstwerten. Darauf folgt wieder ein langsames Absinken der Temperaturen.

Natürlich sind diese Kurven in bezug auf die Temperaturhöchstwerte und den jährlichen Temperaturverlauf nicht konstant, aber das Wesent-

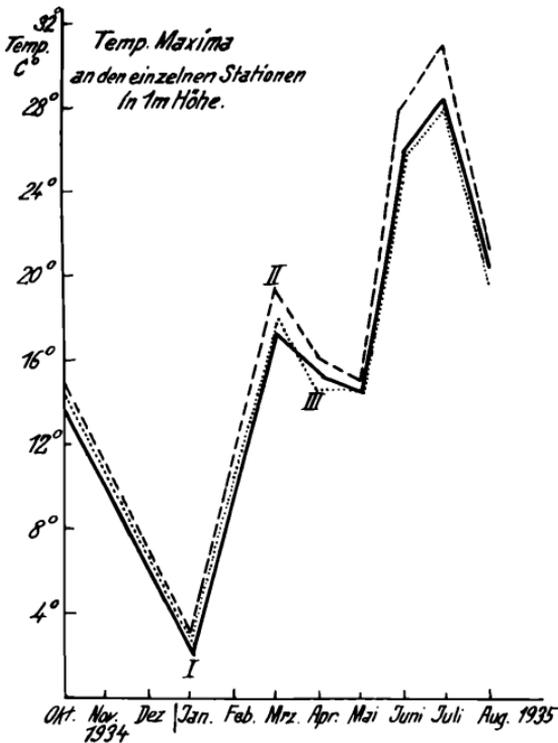


Abb. 10. Die monatlichen Temperaturhöchstwerte an den drei Stationen in 1 m Höhe.

lichste zeigen sie uns doch, nämlich die verschieden starke Erwärmung der zu Beobachtungsstationen erwählten Pflanzenstandorte. In den bodennahen Luftschichten, sowohl in 1 m Höhe (s. Abb. 10) wie in 10 cm Höhe weist der Steppenheidestandort, die Station 2, während des ganzen Jahres einen erhöhten Wärmegenuß auf. Als Höchstwert wurde an Station 2 in 1 m Höhe die Temperatur von $30,8^{\circ}$ C gemessen, an den Stationen 1 und 3 jedoch nur $28,1^{\circ}$ C bzw. $27,8^{\circ}$ C. Je weiter wir uns dem Boden nähern, desto stärker treten auch die Unterschiede zwischen den beiden Standorten der Alpenpflanzen, den Stationen 1 und 3, hervor (s. Abb. 11); und in den Monaten der stärksten Insolation, im Juni

und Juli, treffen wir in 10 cm Höhe an Station 3 sogar auf Temperaturen, welche denen von Station 2 nicht viel nachstehen. Dies äußert sich auch in den aus dieser Luftschicht erhaltenen Höchstwerten der Temperatur. Diese Temperaturmaxima betragen an Station 2 und 3 je $35,8^{\circ}$ C und an Station 1 $32,4^{\circ}$ C.

Noch stärker tritt diese sommerliche Annäherung der Temperaturen von Station 3 an diejenigen der Station 2 in den Bodenschichten zutage.

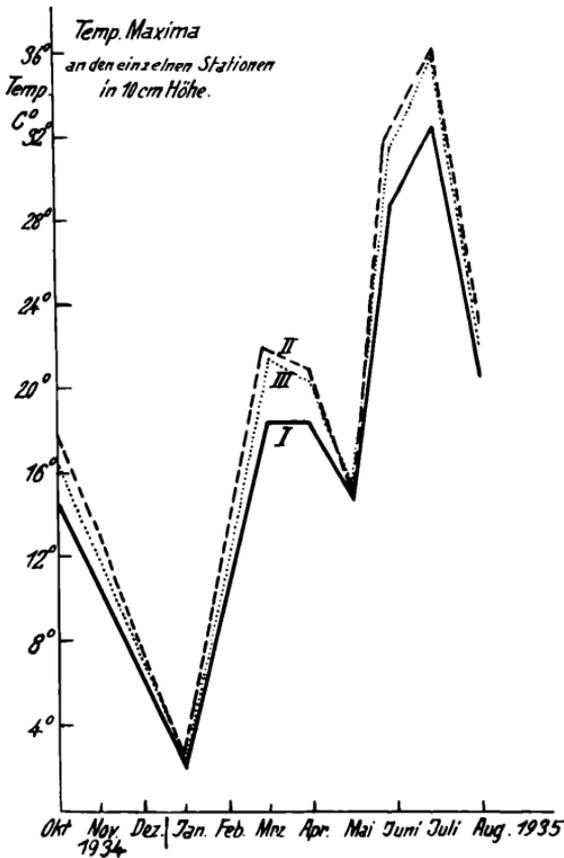


Abb. 11. Verlauf der monatlichen Temperaturhöchstwerte in 10 cm Höhe.

Bereits im Juni vergrößert sich die Temperaturdifferenz zwischen Station 3 und 1 immer mehr und am 24. Juli 1935 wurde sogar an Station 3 u. u. O., d. h. unter den Blättern von *Saxifraga aizoon*, die Maximaltemperatur von $44,7^{\circ}$ C gemessen, während an Station 2 der Höchstwert $44,0^{\circ}$ C und an Station 1 sogar nur $36,2^{\circ}$ C erreicht (s. Abb. 12). Auch in den tieferen Bodenschichten kommen die soeben betrachteten Erscheinungen zur Geltung. Wir finden daher in den Monaten Juni und Juli in 10 cm Tiefe nur noch geringe Temperaturunterschiede zwischen den Stationen 2 und 3 (s. Abb. 13), groß bleibt jedoch der Temperaturunterschied dieser beiden Stationen gegenüber Station 1.

Deutlich kommen diese Unterschiede in den Temperaturhöchstwerten in 10 cm Bodentiefe zum Ausdruck, welche am 24. Juli 1935 gemessen wurden und folgende Werte aufweisen: für Station 1 $21,3^{\circ}\text{C}$, für Station 2 $31,0^{\circ}\text{C}$, und für Station 3 $30,6^{\circ}\text{C}$. Der jährliche Temperaturverlauf sowie die Höchstwerte bestätigen die bereits bei den täglichen

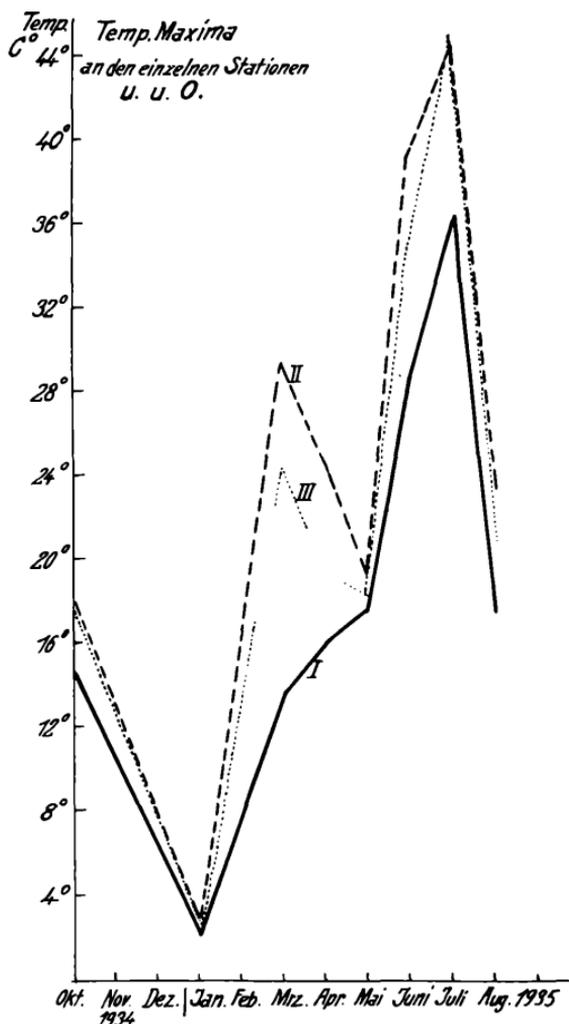


Abb. 12. Verlauf der monatlichen Temperaturhöchstwerte unmittelbar unter der Bodenoberfläche.

Vergleichsmessungen gefundene Tatsache von dem geringen Wärmeumsatz der Station 1 im Vergleich zu den beiden anderen Stationen und der starken Erwärmung besonders der Bodenschicht an Station 3 durch die kräftige Insolation in den Sommermonaten.

Durch dieses intensive Strahlungsklima wird die alpine Reliktpflanze *Saxifraga aizoon* einerseits an Station 3 annähernd denselben Tempera-

turen ausgesetzt wie die Wärmepflanzen der Station 2, andererseits finden wir dieselbe Pflanze an Station 1 unter viel milderen Temperaturverhältnissen wieder (s. Tabelle 4).

Dieser hochsommerliche Temperaturanstieg bleibt vor allen Dingen an Station 3 nicht ohne Wirkung auf *Saxifraga aizoon*. Denn mit der intensiven Einstrahlung ist eine starke Erwärmung und Austrocknung des Bodens verbunden, was gleichzeitig zu einem erheblichen Wasserverlust dieser Pflanze führt. Unter dem Einfluß dieser extremen Be-

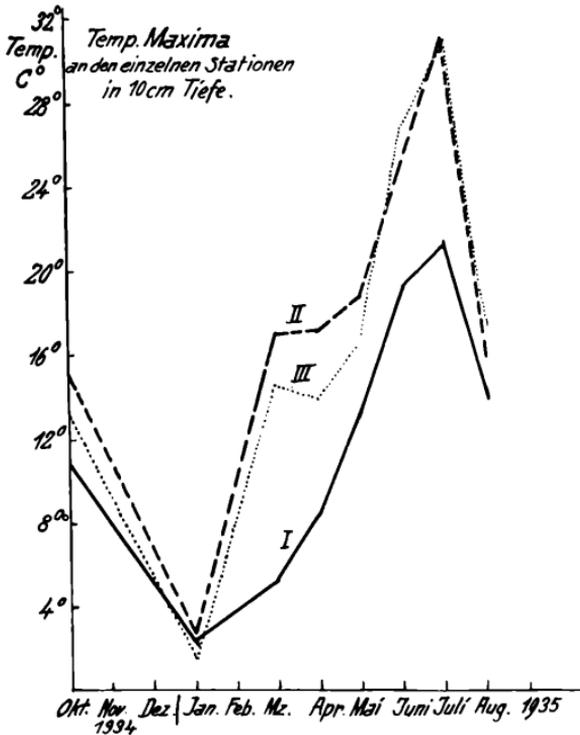


Abb. 13. Verlauf der monatlichen Temperaturhöchstwerte in 10 cm Tiefe des Bodens.

dingungen krümmen sich die bisher horizontal liegenden Blätter dem Mittelpunkt der Rosette zu; sie weichen damit der direkten Sonnenstrahlung und der Wärmerückstrahlung des Bodens aus. Außerdem wirkt diese Stellungsänderung noch vermindernd auf die Wasserabgabe der Pflanzen. (Vgl. hierzu Abschnitt III und IV.) *Saxifraga aizoon* zeigt also ein ähnliches Verhalten wie die Jerichorose. In frischem Zustande sind die Blattrosetten offen, und mit steigender Austrocknung des Bodens und Verringerung der Wasserzufuhr krümmen sich dieselben zu einer Kugel ein. Dieses Einkrümmen der Blätter bietet der Pflanze zunächst einen gewissen Schutz. Jedoch bei längerer Dauer des sommerlichen Strahlungswetters verlieren die Blätter ihre grüne Farbe, werden

gelb, und allmählich treten an ihnen kleine Verbrennungsstellen auf, die sich dann über die ganze Pflanze ausbreiten. Tabelle 4 gibt uns eine Übersicht über diese Zustandsänderungen von *Saxifraga aizoon* an den Stationen 1 und 3 bei zunehmender Bodentemperatur. Während am 24. Juli 1935 mindestens 25% des Saxifragabestandes von Station 3 vollkommen verbrannt sind, finden wir an Station 1 nur leichtere Verbrennungserscheinungen an einzelnen Blättern, und was von besonderer Wichtigkeit ist, noch keine Zerstörung der oberirdischen Erneuerungsknospen dieser alpinen Pflanze. Dies ist hauptsächlich durch die niedrigeren Bodentemperaturen (vgl. Temperaturgang in 10 cm Tiefe) und durch die moosige Unterlage an Station 1 bedingt.

Die mikroklimatischen Messungen und die gleichzeitigen Beobachtungen über die Zustandsänderung von *Saxifraga aizoon* zeigen, daß das Optimum dieser Pflanze ungefähr bei Temperaturen bis zu 25° C unmittelbar unter der Blattrosette und 20° C in 10 cm Tiefe liegt. Stillstand in der Entwicklung von *Saxifraga aizoon*, also das Maximum der Temperatur, tritt schon bei ungefähr 35° C unmittelbar unter der Rosette und 25° C in 10 cm Tiefe ein. Da die anderen Alpenpflanzen des oberen Donautales, z. B. *Draba aizoides*, *Hieracium humile* und *Hieracium bupleuroides*, ungefähr unter ähnlichen Verhältnissen ihre Lebenstätigkeit einstellen (vgl. HEILIG, 1931, S. 257), kommt deutlich zur Geltung, wie sehr das Leben der Alpenpflanzen an tiefere Temperaturen gebunden ist als das der Wärmepflanzen, von denen z. B. *Melica ciliata* ssp. *nebrodensis* und *Allium montanum* zu dieser Zeit an ihrem noch extremeren Standort bei Station 2 gerade in Blüte stehen.

Tabelle 4. Der verschiedene Wärmegenuß der Bodenschichten an Station 1 und 3, die Temperaturunterschiede zwischen diesen beiden Stationen und die Zustandsänderung von *Saxifraga aizoon* an drei Sommertagen.

U. u. der Blatt-Rosette	Tages-Höchstwerte am 23. 6. 35			Tages-Höchstwerte am 18. 7. 35			Tages-Höchstwerte am 24. 7. 35		
	28,6°	5,4°	34,0°	28,8°	6,1°	34,9°	36,2°	8,5°	44,7°
— 10 cm	19,3°	7,3°	26,6°	18,8°	7,8°	26,6°	21,3°	9,3°	30,6°
	Stat. 1	Temp.-Diff.	Stat. 3	Stat. 1	Temp.-Diff.	Stat. 3	Stat. 1	Temp.-Diff.	Stat. 3
Zustand von <i>Saxifraga aizoon</i>	Blattrosetten offen, Blätter grün	Blattrosetten eingerollt, Blätter mit leichten Verbrennungsspuren.		Blattrosetten zum Teil eingerollt, einige Blätter mit ganz leichten Verbrennungsspuren.	Sämtliche Blattrosetten eingerollt, Blätter ganz gelb zum Teil schon ganze Rosetten verbrannt.		Fast sämtliche Blattrosetten eingerollt, Blätter leicht gelb, teilweise mit Verbrennungsspuren.	Sämtliche Blattrosetten eingerollt, Blätter gelb, mindestens 25% dieser Pflanzen vollkommen verbrannt.	

2. Das Verhalten der Alpen- und Wärmepflanzen gegenüber der nächtlichen Inversion.

Während der Nacht sammelt sich die Kaltluft am Talboden an, wodurch eine Temperaturzunahme mit der Höhe bedingt wird. Der Talboden weist somit tiefere nächtliche Temperaturen auf als die Talhänge.

Diese Wärmeverteilung zeigt uns die Nachtmessung vom 17./18. August 1935 (s. Abb. 14), obwohl die Temperaturunterschiede zwischen den einzelnen Stationen nicht besonders groß sind, da diese Nacht nur kurze Zeit (von 24 Uhr bis 2,30 Uhr) wolkenlos war. Die höchsten nächtlichen Temperaturen finden wir an Station 2 und die tieferen an den beiden im Kältesee liegenden Stationen 1 und 3.

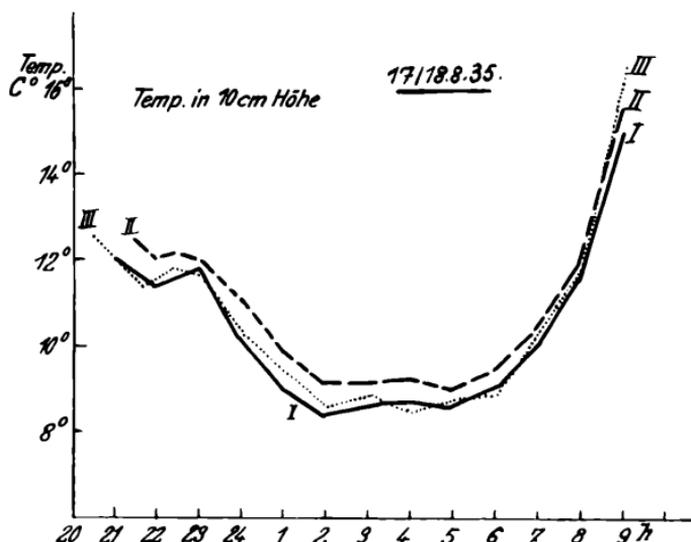


Abb. 14. Der nächtliche Temperaturgang an den drei Stationen in 10 cm Höhe.

Durch die höheren nächtlichen Temperaturen sind die Talhänge auch den Frösten weniger ausgesetzt als die Talsohle. Dies konnte schon am 30. Mai 1935 beobachtet werden. Der in der Nacht vom 29./30. Mai 1935 herrschende Frost verursachte eine Braunfärbung der Buchenblätter an den nördlichen und westlichen Donauhängen bei Fridingen. Es zeigte sich nun eine wundervolle Schichtung dieser Färbung. Unten an der Talsohle waren die Blätter ganz dunkelbraun, mit der Hanghöhe nahm die Farbe ab, verblaßte allmählich und in den obersten Abschnitten der Hänge herrschte noch die grüne Farbe der Buchenblätter. Die Stärke der Braunfärbung war gleichzeitig ein Kennzeichen für die Stärke des Frostes.

Diese nächtlichen Wärmeverhältnisse im Tal (s. GEIGER, 1927, S. 97) machen sich unsere Alpen- und Wärmepflanzen zunutze. Bei genauer Beobachtung der Pflanzenstandorte im Schutzgebiet Stiegelefelds können wir außer den mikroklimatischen Unterschieden zwischen den Stand-

orten dieser beiden Pflanzengruppen noch eine ganz charakteristische Abhängigkeit der Alpen- und Wärmepflanzen von der nächtlichen Temperaturverteilung feststellen (s. Abb. 15). Die Wärmepflanzen, welche tagsüber kräftige Besonnung bevorzugen, suchen nachts Schutz vor den tiefen Temperaturen und vor den empfindlichen Frösten. Diesen Schutz gewährt ihnen die warme Hangzone, und daher finden wir gerade in dieser Zone eine kräftige Entfaltung der Wärmepflanzen. Die für das Schutzgebiet besonders wertvollen Arten, wie *Coronilla vaginalis*, *Daphne cneorum* und *Stipa pennata* ssp. *mediterranea*, wurden ausschließlich in dieser Zone beobachtet. Eine Ausnahme machen neben den weniger empfindlichen Wärmepflanzen nur *Asperugo procumbens* und *Sisymbrium austriacum*. Diese beiden Pflanzen kommen auch an

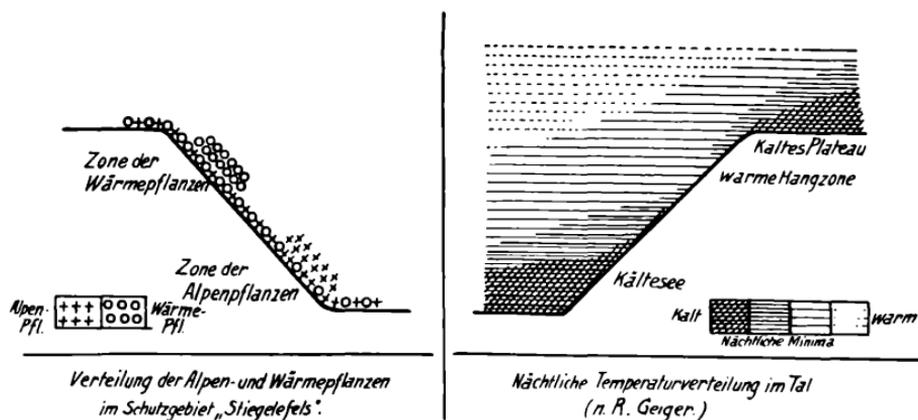


Abb. 15. Die Verteilung der Alpen- und Wärmepflanzen und die nächtliche Temperaturverteilung im oberen Donautal (Schutzgebiet Stiegelefels).

der Talsohle vor, leben aber dort in den Grotten der Felsen, in welchen sie ebenfalls vor Frost und den tiefen Nachttemperaturen geschützt sind. (Vgl. K. BERTSCH, 1919.)

Im Gegensatz zu den Wärmepflanzen stehen unsere gegen Kälte weniger empfindlichen Alpenpflanzen, welche ihre größte Verbreitung und ihre schönsten Bestände am unteren Teil des Talhanges, im Kältesee, aufweisen. Dies gilt besonders für *Saxifraga aizoon* und *Draba aizoides*, aber auch für *Hieracium humile* und *Hieracium bupleuroides*. Nur tritt bei den beiden letzteren diese Erscheinung weniger deutlich hervor, da sie viel seltener und weniger bestandbildend sind wie die anderen alpinen Arten. Durch diese Lage im nächtlichen Kältesee wird den Alpenpflanzen eine Erholung von den — vor allem im Hochsommer herrschenden — hohen Tagestemperaturen ermöglicht.

Die Alpen- und Wärmepflanzen im Schutzgebiet Stiegelefels sind, wie uns die Beobachtung zeigt, in ihrem Hauptvorkommen deutlich auf zwei verschiedene Abschnitte im Talhang verteilt, welche mit der nächt-

lichen Temperaturverteilung im Zusammenhang stehen. Der warmen Hangzone entspricht die „Zone der Wärmepflanzen“ und dem Kältesee die „Zone der Alpenpflanzen“.

3. Der Temperaturumsatz im Kalkfelsen.

Neben der Betrachtung der Bodentemperaturen ist für uns der Temperaturgang im Kalkgestein ebenfalls von Wichtigkeit. Viele unserer Alpen- und Wärmepflanzen siedeln sich in Rissen und Spalten der Felsen an; ihre Blätter, hauptsächlich die grundständigen Blattrosetten z. B. von *Saxifraga aizoon*, *Draba aizoides*, *Carduus defloratus* und *Arabis arenosa*, ebenso die Blattquirle z. B. von *Dianthus caesius* liegen häufig der nackten Felsoberfläche direkt auf.

Da die Felsoberfläche für diese Pflanzen gleichbedeutend mit der Bodenoberfläche ist, wird es notwendig, auch den Wärmeumsatz im Fels mit in die mikroklimatischen Untersuchungen einzubeziehen. Denn wie die Bodenoberfläche wirkt auch die Felsoberfläche durch Rückstrahlung und durch nächtliche Wärmeabgabe bestimmend auf den Wärmehaushalt der sie besiedelnden Pflanzen und das für sie charakteristische Mikroklima ein.

Zur Erforschung des Temperaturganges im Kalkgestein wurden an einer nach Südwesten orientierten, nahezu senkrechten Wand eines fast zwei Meter hohen Felsblocks Quecksilberthermometer horizontal eingelassen. Gemessen wurde die Temperatur des Felsens an seiner Oberfläche, in 3 cm, 5,5 cm und 8 cm Tiefe. Bei der Messung der Oberflächen-temperatur des Felsens beschattete ein BURG-Schirm das Quecksilbergefäß. Obwohl der Schirm so gestellt war, daß er hauptsächlich nur das Thermometer vor der direkten Sonnenbestrahlung schützte, konnte doch nicht vermieden werden, daß auch geringe Teile des Felsens in der Nähe des Quecksilbergefäßes beschattet wurden. Dadurch dürften die für die Felsoberfläche erhaltenen Temperaturwerte durchweg etwas zu tief liegen.

Bei näherer Betrachtung des Temperaturverlaufs im Felsen während eines wolkenlosen Tages (s. Abb. 16) fällt die Verlagerung der Temperaturhöchstwerte auf den Spätnachmittag auf. Im Fels können wir ein Ansteigen der Temperatur bis kurz vor Sonnenuntergang beobachten. Dies rührt hauptsächlich von der Exposition her. Durch die südwestliche und nahezu senkrechte Lage des Felsens fallen die Strahlen der Sonne erst kurz vor ihrem Untergang senkrecht zur Felsoberfläche ein. Die größte Insolation erfolgt also erst in den Spätnachmittagsstunden. Am stärksten während des Tages erwärmt sich die Felsoberfläche (vgl. GEIGER, 1927, S. 142 f.). Jedoch wurde im Verlauf der Messungsreihen festgestellt, daß die Temperatur der Felsoberfläche bereits um 17 Uhr ihren Höchstwert erreicht hat, um dann rasch abzusinken. Die Temperatur in 3 cm Tiefe des Felsens steigt dagegen bis 18 Uhr an (Sonnenuntergang 18,30 Uhr), sie zeigt zu dieser Tageszeit nicht nur ihren höchsten Wert, sondern übertrifft sogar die Tageshöchsttemperatur der

Felsoberfläche und weist so die größte Felstemperatur während des ganzen Tages auf. Die gleiche Erscheinung — Tageshöchsttemperatur nicht an der Oberfläche des Felsens, sondern in 3 cm Tiefe — wurde noch öfters, allerdings nicht immer beobachtet. So wurde auch die absolut höchste beobachtete Felstemperatur (14. Juli 1935) in Höhe von $39,6^{\circ}\text{C}$ nicht an der Oberfläche, sondern in 3 cm Tiefe gemessen; in

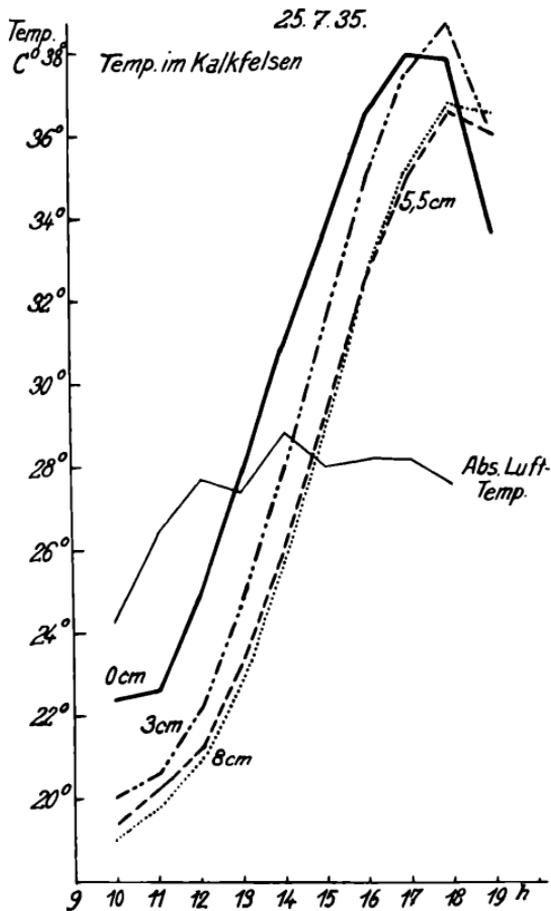


Abb. 16. Der Temperaturgang in verschiedener Tiefe eines Kalkfelsens, während der Einstrahlung.

der Oberfläche selbst wurde als Höchstwert $37,9^{\circ}\text{C}$ festgestellt. Höchstwahrscheinlich ist letzteres jedoch auf einen unvermeidlichen Apparatfehler zurückzuführen, nämlich auf die Beschattung durch den Schuttschirm, dessen Wirkung, wie schon oben erwähnt, nicht nur das Quecksilbergefäß des Thermometers, sondern auch die nächstbenachbarten Felsteile traf. In 5,5 cm Tiefe betrug der Höchstwert $37,3^{\circ}\text{C}$ und in 8 cm Tiefe $37,4^{\circ}\text{C}$. Die geringe Verschiedenheit der letzten zwei Maximalwerte hängt mit dem Temperaturgang im Fels zusammen. Bei Tag

finden wir in den obersten Felsschichten eine rasche Temperaturabnahme, die sich mit zunehmender Tiefe derart verlangsamt, daß zwischen 5,5 und 8 cm Tiefe des Felsens, wie in Abb. 16 deutlich ersichtlich, nur noch ganz geringe Temperaturdifferenzen auftreten.

Gerade umgekehrt liegen die Temperaturverhältnisse im Felsen bei Nacht (s. Abb. 17). Statt der Temperaturabnahme finden wir nun die Temperaturzunahme mit der Tiefe. Die größte Temperaturdifferenz herrscht auch in diesem Falle zwischen der Schicht in 3 cm Tiefe und der jetzt kühleren Felsoberfläche. Im Vergleich mit der Tageskurve wird der zwischen den Schichten in 3 cm und 5,5 cm Tiefe herrschende

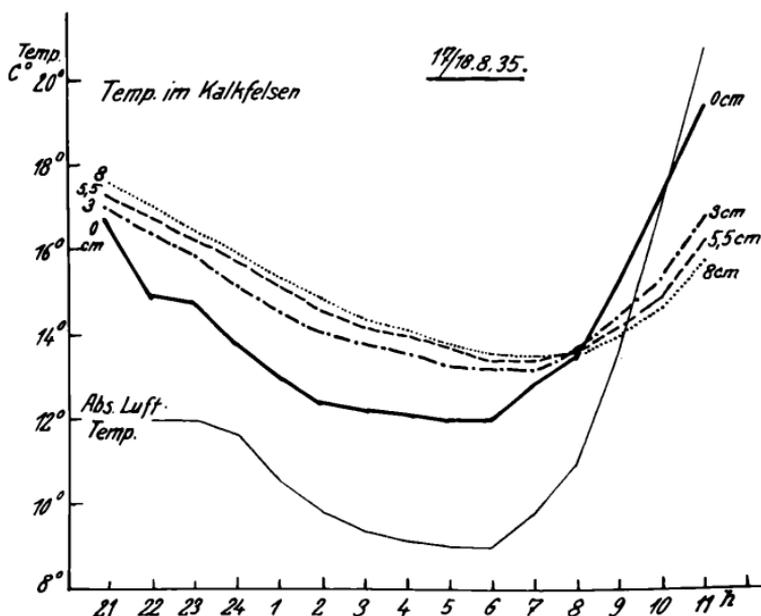


Abb. 17. Nächtlicher Temperaturgang in verschiedener Tiefe eines Kalkfelsens.

Temperaturunterschied bei Nacht wesentlich verkleinert. Die Temperaturzunahme mit der Tiefe bei Nacht erfolgt im Fels langsamer und ausgeglichener als die Temperaturabnahme mit der Tiefe bei Tag.

Die Kalkfelsen des oberen Donautales zeichnen sich durch starke Wärmeaufnahme aus, die jedoch im Vergleich mit dem Wärmeumsatz der Bodenoberfläche gering ist. Mit dem Temperaturmaximum von 37,9 C erreicht die Felsoberfläche bei weitem nicht das Maximum der nackten Bodenoberfläche, welches in den Sommermonaten Juni bis August häufig 50 C übersteigt und am 19. Juni 1936 an Station 3 den Maximalwert von 65,0 C¹ erreichte.

¹ Es bestätigt sich also die Vermutung von GRADMANN (1936, I, S. 133), welcher es als Zufall bezeichnet, daß im Albgebiet noch keine ähnlichen Höchstwerte der Temperatur festgestellt wurden, wie sie z. B. HEILIG (1931) u. a. beobachteten.

Da die Oberflächentemperaturen des Felsens wesentlich niedriger liegen, ist auch seine Rückstrahlung bedeutend geringer als diejenige der Bodenoberfläche. Die Blätter oder Rosetten unserer Alpen- und Wärmepflanzen, insbesondere die Rosetten von *Saxifraga aizoon*, welche dem nackten Fels aufliegen, sind daher der Gefahr des Verbrennens nicht so stark ausgesetzt, wie über nacktem Boden. Während den wärmeempfindlichen Alpenpflanzen die — im Vergleich zur Temperatur des unbewachsenen Bodens — niedrige Tagetemperatur des Felsens günstig ist, kommt die nächtliche Wärmespeicherung des Felsens den Wärmepflanzen zugute. Die frostempfindlichen Wärmepflanzen *Coronilla vaginalis*, *Daphne cneorum* und *Stipa pennata* kommen, wie bereits erwähnt, nur in der warmen Hangzone und dort hauptsächlich am Felsen vor. Hier genießen sie Schutz vor Frost, einerseits durch die nächtliche Temperaturverteilung im Talkessel, andererseits durch die Rückgabe der im Fels gespeicherten Tageswärme an die bodennahen Luftschichten.

b) Verdunstung.

1. Verdunstung an den einzelnen Stationen.

Die Verdunstung an den drei Beobachtungsstationen ist vorwiegend durch den Temperaturgang und die Stärke des Windes bestimmt. Mit steigender Temperatur und zunehmender Windgeschwindigkeit erhöht sich die Verdunstungskraft. (Vgl. FIRBAS, 1924.)

Verdunstungsmessungen wurden sowohl in 1 m wie in 10 cm Höhe ausgeführt. Wir betrachten zunächst die Verdunstungsunterschiede in 1 m Höhe (s. Abb. 18). Würde die Verdunstung allein durch den Temperaturgang bestimmt, dann müßte die Station mit den höchsten Temperaturwerten auch die größten Verdunstungswerte zeigen. Dies ist jedoch nicht der Fall, die stärkste Evaporation weist nicht Station 2, sondern die Station 3 auf, an welcher die größere Windgeschwindigkeit in 1 m Höhe herrscht. Hier tritt die verdunstungsfördernde Wirkung des Windes in Erscheinung. Der durch den Wind bewirkte Austausch transportiert die feuchter gewordenen Luftmassen weg und schafft damit die Möglichkeit einer weiteren Verdunstung.

Diese höhere Verdunstung wird auch aus Abb. 19 ersichtlich, in welcher die monatlichen Höchstwerte der stündlichen Verdunstung an den einzelnen Stationen in 1 m Höhe dargestellt sind. Charakteristisch für den Verlauf dieser Höchstwerte ist die Ähnlichkeit mit dem Verlauf der monatlichen Temperaturhöchstwerte. Bereits im März 1935 beobachten wir schon ziemlich hohe Verdunstungswerte (vgl. WALTER, 1928, S. 280, und VOLK, 1931, S. 87), z. B. an Station 1 0,75 ccm/h, an Station 2 und 3 je 1,15 ccm/h. Mit dem Temperaturabfall im April und Mai erfolgt auch ein Zurückgehen der Verdunstungskraft, welche dann im Juni wieder ansteigt, um im Juli die sommerlichen Höchstwerte zu erreichen. Diese Höchstwerte der Verdunstung in 1 m Höhe, welche zusammen mit den Temperaturhöchstwerten auftreten, betragen an

Station 1 1,35 ccm/h, an Station 2 1,65 ccm/h und an Station 3 1,95 ccm/h. Der am 24. Juli 1935 an Station 3 in 1 m Höhe gemessene Wert von **1,95 ccm/h** (s. Abb. 18) stellt das Maximum sämtlicher Verdunstungsmessungen dar. Dieser Wert erreicht zwar die Höchstwerte von HEILIG (2,67 ccm/h, am Kaiserstuhl) und von SCHANDERL (2,60 ccm/h, bei Würzburg) nicht, liegt jedoch höher als der von VOLK (1931) in der Oberrheinischen Tiefebene gemessene Höchstwert von 1,85 ccm/h.

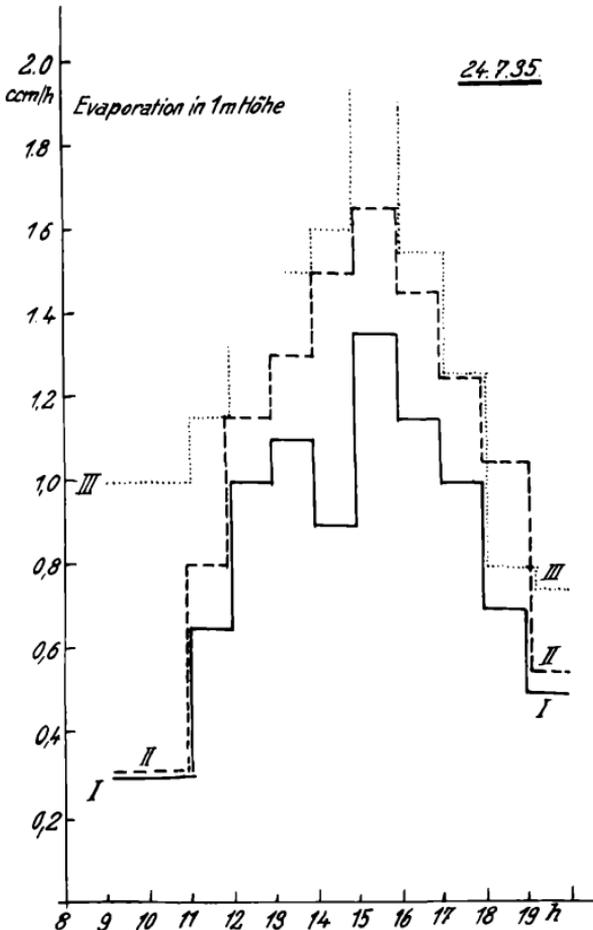


Abb. 18. Die tägliche Verdunstung in 1 m Höhe an den verschiedenen Stationen.

Von viel größerer Bedeutung, als die Verdunstungskraft in 1 m Höhe, ist für unsere Pflanzen die Verdunstungskraft in 10 cm Höhe. Im täglichen Gang der Evaporation in 10 cm Höhe (s. Abb. 20) herrscht während des Vormittags, infolge der früheren Bestrahlung durch die Sonne, an Station 3 die stärkste Verdunstung. Nachmittags finden wir jedoch die höchsten Werte an Station 2. Die schwächste Verdunstung weist, wie in 1 m Höhe, so auch hier in 10 cm Höhe wieder Station 1 auf.

Bei der Betrachtung der monatlichen Höchstwerte (s. Abb. 21) fällt auch in 10 cm Höhe die starke Verdunstung im Frühjahr auf. Im März 1935 wurden in dieser Höhe an den drei Stationen folgende Höchstwerte beobachtet: an Station 1 0,70 ccm/h, an Station 2 1,20 ccm/h, an Station 3 0,90 ccm/h. Von besonderer Wichtigkeit ist die starke Erhöhung der Verdunstungskraft an Station 3 in den Monaten Juni und Juli, also zu einer Zeit, in der die hohen Bodentemperaturen bereits

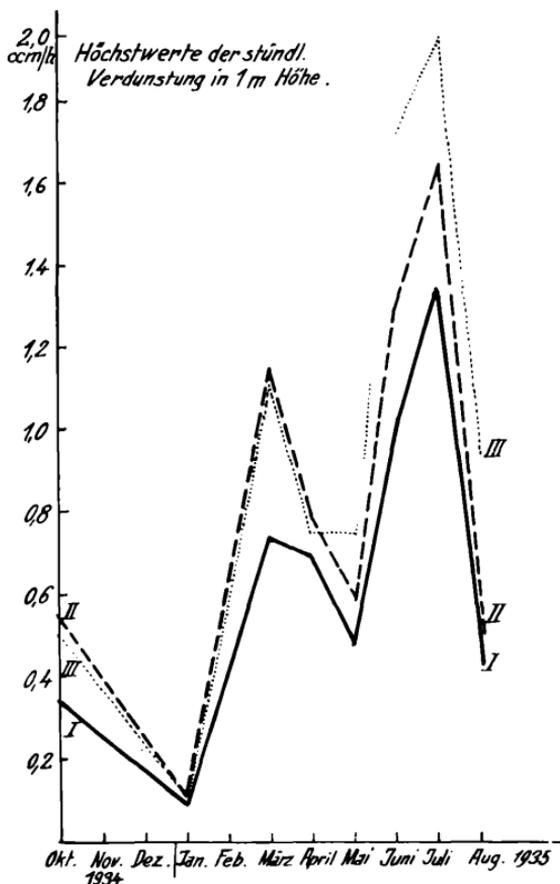


Abb. 19. Verlauf der monatlichen Höchstwerte der stündlichen Verdunstung in 1 m Höhe an den drei Stationen.

schädlich auf die Standortflora wirken. Diese hohe sommerliche Verdunstung in 10 cm Höhe an Station 3 bewirkt eine Vergrößerung des Wassermangels von *Saxifraga aizoon* und trägt zusammen mit den Temperaturen zu den früher beschriebenen Verbrennungserscheinungen an dieser Pflanze bei. Im Gegensatz zu Station 3 ist die Verdunstung über dem *Saxifraga*-Bestand der Station 1 verhältnismäßig niedrig, sogar während den heißen Sommermonaten. Das Maximum der stünd-

lichen Evaporation beträgt in 10 cm Höhe an Station 1 nur 1,05 ccm/h, an Station 2 jedoch 1,70 ccm/h, und an Station 3 1,65 ccm/h. Die Maxima der Tagesmittelwerte (s. Tabelle 5), welche am 24. Juli 1935 beobachtet wurden, weisen ebenfalls auf diese geringe Verdunstung an Station 1 hin. In 10 cm Höhe erreichen die Tagesmittelwerte an den einzelnen Stationen folgende Höchstwerte: an Station 1 0,64 ccm/h, an Station 2 1,05 ccm/h und an Station 3 1,00 ccm/h.

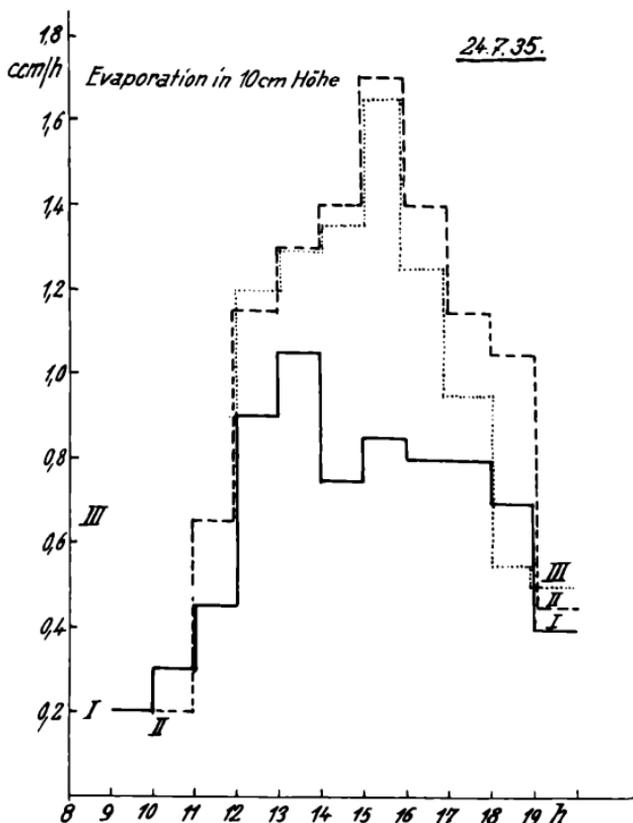


Abb. 20. Tägliche Verdunstung in 10 cm Höhe an den verschiedenen Stationen.

Diese Messungen zeigen uns, daß die Verdunstungskraft über der alpinen Vegetation an Station 1 und, mit Ausnahme der Sommermonate, auch an Station 3 während des ganzen Jahres schwächer ist, als diejenige über der Steppenvegetation an Station 2.

Tabelle 5.

Die höchsten Tagesmittelwerte der Verdunstung in ccm/h, gemessen am 24. Juli 1935.

	Zeit	10 cm	1 m
Station 1	8 — 19h	0,64	0,81
Station 2	9 — 19h	1,05	1,10
Station 3	8 — 19h	1,00	1,25

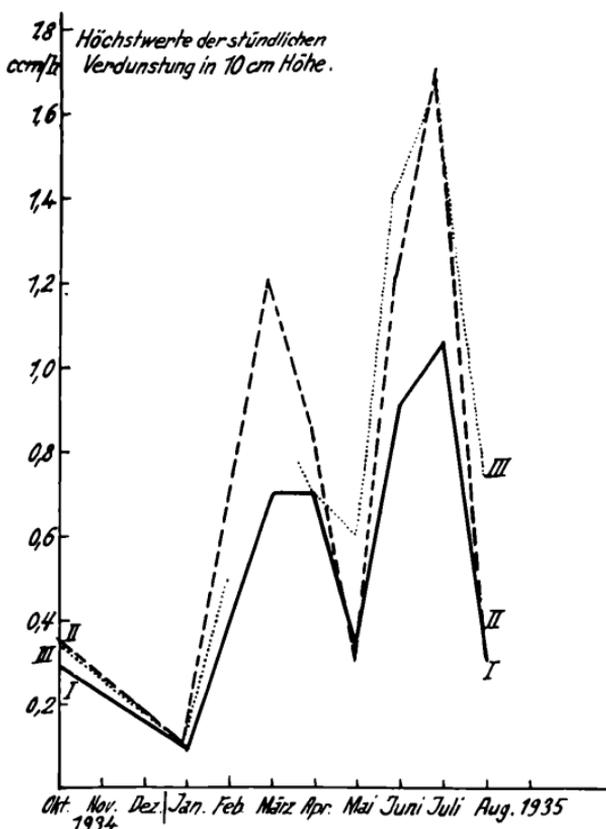


Abb. 21. Verlauf der monatlichen Höchstwerte der stündlichen Verdunstung in 10 cm Höhe an den drei Stationen.

2. Die Verdunstung in verschiedener Höhe über dem Boden.

Über die Verdunstung in verschiedener Höhe über dem Boden herrschen zwei verschiedene Ansichten. FIRBAS (1924, S. 234 ff.) und VOLK (1931, S. 85 ff.) stellten eine Abnahme der Verdunstung mit der Höhe fest. Die Untersuchungen WALTERS (1928, S. 272) zeigen jedoch eine Zunahme der Evaporation mit der Höhe. Im Verlauf meiner Verdunstungsmessungen im Schutzgebiet gelang es nun, beide Typen zu erfassen.

Am häufigsten wurde die Zunahme der Evaporation mit der Höhe beobachtet. Dieser Typus der Evaporation (s. Tabelle 5) herrscht im Verlauf sämtlicher Messungen an den Stationen 1 und 3. Sowohl an sonnigen wie an bewölkten Tagen war die Evaporation an diesen beiden Stationen in 1 m Höhe größer als in 10 cm Höhe. Am auffallendsten tritt diese Zunahme an bewölkten Tagen in Erscheinung. In Abb. 22 ist der Verlauf der Evaporation an Station 3 während eines bewölkten Tages (18. Juli 1935) dargestellt. Bereits in den frühen Morgenstunden ist die

Verdunstungskraft in 1 m Höhe größer als in 10 cm Höhe. Diese Verdunstungszunahme mit der Höhe erhält sich während des ganzen Tages und ist in den Nachmittagsstunden besonders deutlich. Auch in den Tagesmittelwerten der Verdunstung kommt dies zum Ausdruck. Am 18. Juli 1935 betrug z. B. der Mittelwert der täglichen Verdunstung an Station 3 in der Zeit von 7 bis 19 Uhr in 10 cm Höhe 0,64 ccm/h und in 1 m Höhe 0,94 ccm/h.

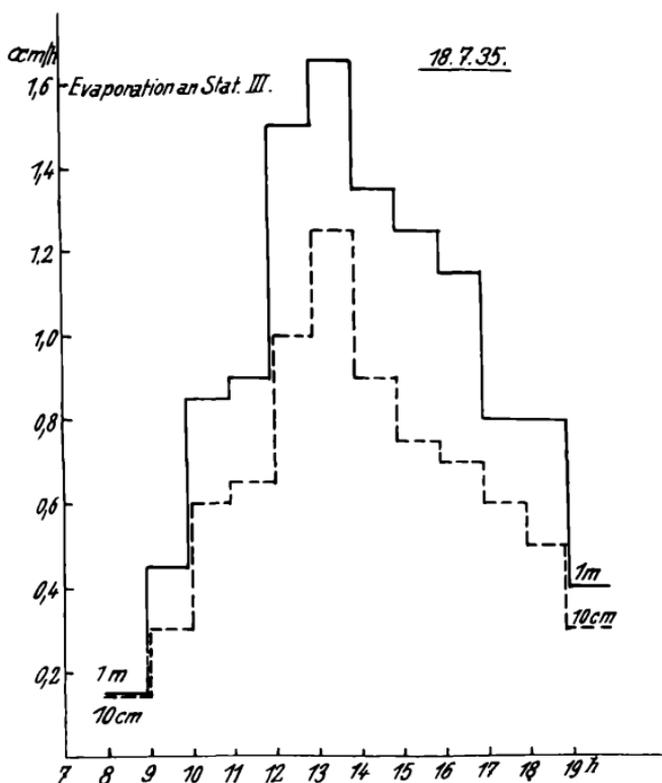


Abb. 22. Die Verdunstung an Station 3 in 10 cm und 1 m Höhe, an einem bewölkten, sonnenlosen Tag.

An Station 2 konnte außer der Zunahme auch eine Abnahme der Evaporation mit der Höhe festgestellt werden, jedoch nur an sonnigen Tagen mit kräftiger Insolation (s. Abb. 23 und Tabelle 6). Durch die intensive Einstrahlung wird die Verdunstung in den untersten Luftschichten derart gesteigert, daß die höchsten Verdunstungswerte nicht mehr in 1 m, sondern in 10 cm Höhe auftreten. Eine Abnahme der Evaporation mit der Höhe konnte nur in Station 2 festgestellt werden, nicht aber an Station 3. Obwohl an dieser Station ebenfalls durch die Insolation eine starke Erwärmung der bodennahen Luftschichten erfolgt und obgleich auch hier die Vegetationsdecke einem „Bodenüberzug“ ent-

spricht (s. GEIGER, 1927, S. 114). Dies ist auf die Wirkung des Windes zurückzuführen. Der Wind bewirkt in 1 m Höhe an Station 3 eine starke Erhöhung der Verdunstung, so daß der — gegenüber den Verdunstungswerten in 10 cm Höhe — auftretende Unterschied von der kräftigen Insolation an sonnigen Tagen nur abgeschwächt, jedoch nicht überbrückt werden kann. Die höchsten Verdunstungswerte treten deshalb an Station 3 stets in 1 m Höhe auf.

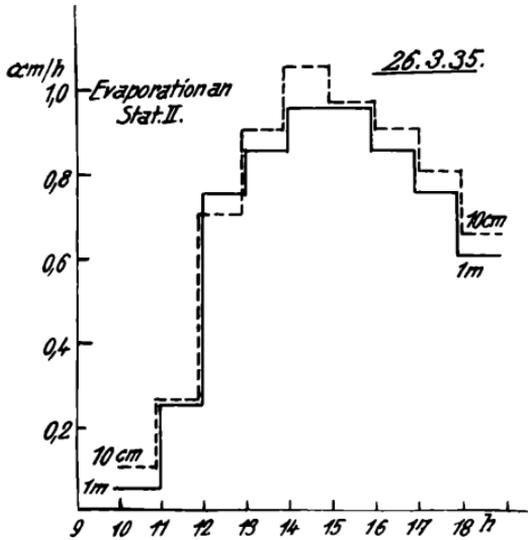


Abb. 23. Die Verdunstung an Station 2 in 10 cm und 1 m Höhe, an einem sonnigen, wolkenlosen Tag.

Tabelle 6. Tägliche Verdunstung in ccm/h an Station 2, in 10 cm und 1 m Höhe, an sonnigen Tagen.

Tag	10 cm	1 m	Mittlere Windstärke in m/sec gemessen in 10 cm Höhe	Zeit
13. März 1935	0,65	0,61	0,84	11 — 18 h
15. März 1935	0,66	0,63	0,37	10 — 18 h
19. März 1935	0,45	0,45	0,44	10 — 18 h
21. März 1935	0,89	0,86	0,56	10 — 18 h
26. März 1935	0,79	0,75	0,29	10 — 18 h

Da Windstärke und Insolation die beiden Faktoren sind, welche eine Zu- oder Abnahme der Verdunstung mit der Höhe bedingen, wird der vertikale Gang der Evaporation durch folgende zwei Typen charakterisiert.

1. Der Windtypus. Er ist durch die Zunahme der Evaporation mit der Höhe gekennzeichnet. Die Windgeschwindigkeit nimmt in vertikaler Richtung zu und bewirkt, da mit zunehmender Windstärke sich auch die Verdunstungskraft erhöht (s. S. 115), das Auftreten des Evaporationsmaximums in der Höhe. Diesen Typus finden wir sehr häufig, besonders an bewölkten oder windigen Tagen, oder an Tagen mit schwacher Insolation.

2. Der Insolationstypus. Viel seltener als der Windtypus ist dieser Typus, welcher eine Abnahme der Verdunstungskraft mit der Höhe bedingt. Er herrscht nur an sonnigen Tagen mit kräftiger Strahlung über nacktem, oder nur mit einer niederen Vegetationsschicht bedecktem Boden. Durch die intensive Insolation wird die Verdunstungskraft in den bodennahen Luftschichten stärker erhöht, als diejenige in den höheren Luftschichten durch die verdunstungsfördernde Wirkung des Windes. Die Höchstwerte der Evaporation kommen dadurch in die bodennächsten Schichten zu liegen. Sobald jedoch die Insolation aufhört, verwandelt sich dieser Typus wieder in den Windtypus.

c) Feuchtigkeit.

Die Messungen der relativen Feuchtigkeit mit den Haarhygrometern an den drei Beobachtungsstationen zeigen uns, daß die Luftschichten an Station 2 den geringsten und an Station 1 den größten relativen Feuchtigkeitsgehalt aufweisen. In Abb. 24 ist der Verlauf der relativen Feuchtigkeit an den Beobachtungsstationen während eines sonnigen Tages dargestellt. Die Kurven geben — ausgenommen die mit dem Aspirationspsychrometer in der Nähe der Station 2 gemessenen Werte der relativen Luftfeuchtigkeit — jedoch nur den Feuchtigkeitsunterschied wieder, welcher zwischen den einzelnen Stationen herrscht und nicht die genauen Werte der relativen Feuchtigkeit (vgl. S. 99). Wie aus der Abbildung hervorgeht, herrscht der größte Feuchtigkeitsunterschied zwischen den Stationen 1 und 2, aber auch an Station 3 ist die relative Feuchtigkeit wesentlich geringer als an Station 1. Dies zeigen uns auch die aus dem täglichen Verlauf der relativen Feuchtigkeit erhaltenen Mittelwerte der drei Stationen. Als Beispiel seien folgende Tagesmittelwerte angeführt:

Tabelle 7. Mittelwerte aus dem täglichen Verlauf der relativen Feuchtigkeit.

Datum	Zeit	Station 1	Station 2	Station 3	Bewölkung
21. 3. 35	9 — 18 ^h	40%	23%	27%	wolkenlos (0)
26. 3. 35	9 — 18 ^h	42%	35%	35%	wolkenlos (0)
24. 7. 35	8 — 18 ^h	39%	28%	36%	wolkenlos (0)

Sowohl im täglichen Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit, wie in der Größe ihrer Tagesmittelwerte kommt deutlich der größere relative

Feuchtigkeitsgehalt zum Ausdruck, welchen der charakteristische Standort der Alpenpflanzen, die Station 1, im Vergleich mit dem extremeren Standort an Station 3 und dem Steppenheidestandort an Station 2 aufweist.

Wie wirkt nun dieser verschiedene relative Feuchtigkeitsgehalt der Station 1 und 3 auf die dort vorherrschende Pflanze, auf *Saxifraga aizoon*? Die Blütezeit der Pflanzen wird in dem Maße beschleunigt,

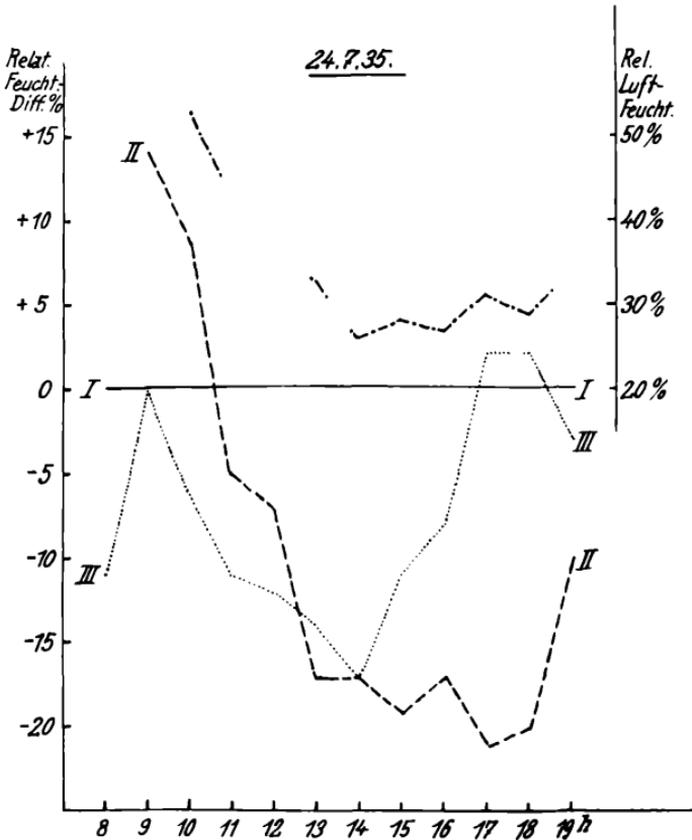


Abb. 24. Der Feuchtigkeitsunterschied an den Stationen 2 und 3 im Vergleich zu Station 1.

— · · · · · = Relative Luftfeuchtigkeit, gemessen mit dem Aspirationspsychrometer.

als der Feuchtigkeitsgehalt der Luft abnimmt. (WOLLNY, 1897/98.) An Station 3 steht *Saxifraga aizoon* bereits am 30. Mai 1935 in voller Blüte, zu einer Zeit, da dieselbe Pflanze an Station 1 höchstens Blütenknospen aufweist. Erst am 14. Juni 1935 hatte *Saxifraga aizoon* an ihrem feuchteren Standort der Station 1 die Blüten entfaltet. Ferner wird nach WOLLNY die Bestockung der Pflanzen und die Entwicklung der reproduktiven Organe mit dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft gefördert. Auch

dies bestätigen uns die Alpenpflanzen an Station 1. Während Ende Juli 1935 die alpinen Pflanzen an Station 3 infolge der hohen Temperaturen ihre Entwicklung fast vollständig eingestellt haben, zeigt sich an Station 1 bereits ein reges Wachstum der oberirdischen Erneuerungsknospen von *Saxifraga aizoon*.

d) Licht.

Die Lichtmessungen ergaben einen annähernd gleichmäßigen Lichtgenuß der Stationen 2 und 3. Nur an Station 1 ist die Intensität des Lichtes wesentlich geringer. Dies zeigt uns Abb. 25, in welcher der Verlauf der relativen Lichtmenge an den drei mikroklimatischen Stationen während eines sonnigen Tages dargestellt ist. Die Kurven geben die mit dem EDER-HECHTSchen Graukeilphotometer an den Beobachtungsstationen gemessenen Werte der stündlichen Lichtsummen wieder. Wie bei den Messungen der relativen Luftfeuchtigkeit kommen auch hier die unterschiedlichen Lichtverhältnisse bei Betrachtung der Tagesmittelergebnisse schön zum Vorschein. Den verschiedenen Lichtgenuß der drei Stationen mögen daher noch die nachstehend angeführten Tagesmittelergebnisse der relativen Lichtmenge veranschaulichen:

Tabelle 8. Der verschiedene Lichtgenuß der mikroklimatischen Stationen, dargestellt in den Mittelwerten der relativen Lichtmenge einiger Versuchstage.

Datum	Zeit	Station 1	Station 2	Station 3	Bewölkung
13. 10. 34	9 — 17 ^h	49,3	53,1	55,8	vollständig bewölkt (10)
15. 3. 35	9 — 18 ^h	80,9	141,9	146,2	wolkenlos (0)
21. 3. 35	9 — 18 ^h	50,7	131,0	151,2	wolkenlos (0)
26. 3. 35	9 — 18 ^h	50,6	140,4	134,8	wolkenlos (0)
23. 6. 35	8 — 19 ^h	79,3	96,8	128,0	ganz leicht bewölkt (0—1)
18. 7. 35	7 — 18 ^h	69,2	92,2	87,2	stark bis vollständig bewölkt (8—10)
24. 7. 35	8 — 18 ^h	81,3	133,4	135,8	wolkenlos (0)

Die reiche Besiedlung der Station 1 und ihrer Umgebung mit *Saxifraga aizoon*, *Draba aizoides* und weniger reichlich mit *Hieracium humile* und *Hieracium bupleuroides* läßt darauf schließen, daß die geringere Lichtmenge, welche diese Station im Verhältnis zu den beiden anderen Stationen genießt, der Entwicklung dieser alpinen Pflanzen nicht hinderlich ist. Jedoch bei genauer Betrachtung von *Saxifraga aizoon* können wir an ihr Unterschiede feststellen, welche teilweise auf verschiedenen Lichtgenuß zurückzuführen sind. Die *Saxifraga*-Bestände, welche im Genuß einer größeren Intensität der Sonnenstrahlen stehen als die an schattigen Standorten, zeigen deutliche habituelle Abweichungen. Ihre Blätter sind gedrunge und ihre Rosetten klein, an schattigen Plätzen

bildet dagegen *Saxifraga aizoon* die größten Blätter und somit auch die größten und schönsten grundständigen Rosetten aus. An diesen Verschiedenheiten des Wuchses sind indessen außer dem Licht noch andere Faktoren beteiligt, welche aber an jenen schattigen Standorten nach der gleichen Richtung hin wirken, z. B. Wassergehalt des Bodens und Feuchtigkeit der Luft.

Eine weitere Bedeutung kommt dem Licht bei der Blütenbildung zu. Daß die Entwicklung der Blüte in Beziehung zur Lichtintensität steht, zeigt uns der Epheu, welcher am hellen Standort, nicht aber im Schatten des Waldes blüht. In der gleichen Abhängigkeit vom Licht steht *Saxi-*

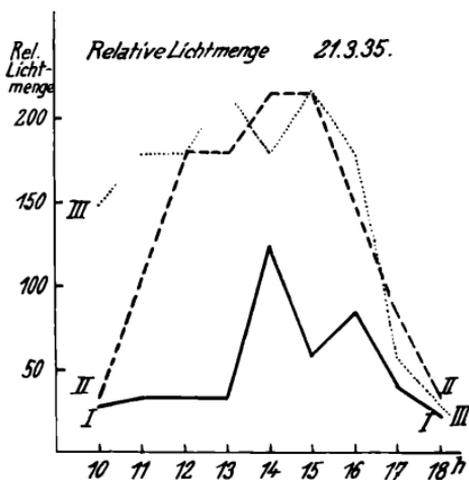


Abb. 25. Relative Lichtmenge im täglichen Verlauf an den drei Stationen.

fraga aizoon. Während ihr die Lichtverhältnisse an Station 1 zur Blüte vollkommen ausreichen, finden wir in der näheren Umgebung dieser Beobachtungsstation an ständig beschatteten Standorten große Bestände, welche keine Blüten mehr entwickeln. Der üppige Wuchs und die reiche vegetative Vermehrung deuten aber darauf hin, daß diese Pflanzen nur in ihrer Blütenentwicklung gehemmt sind. Daß im übrigen auch die relative Luftfeuchtigkeit sich auf die Blütenentwicklung bzw. das vegetative Wachstum von *Saxifraga* auswirkt, wurde bereits oben (S. 123) näher dargelegt.

Abschnitt III.

Über die Transpiration der Alpen- und Wärmepflanzen.

A. Methodik.

Die Transpiration der Alpen- und Wärmepflanzen des oberen Donautales wurde durch das Schnellwägeverfahren ermittelt. Zur Feststellung des Gewichts der abgeschnittenen Pflanzenteile diente die von HARTMANN und BRAUN hergestellte kombinierte Balken-Torsionswaage. Ihr Transport erfolgte in einem Koffer, welcher während den Messungen zugleich als Schutzgehäuse für die

Waage gegen Wind und Sonne Verwendung fand. (Näheres s. FILZER, 1933, S. 57.) Die Transpiration wurde in der heute üblichen Weise festgestellt:

1. Pflücken des Blattes und Feststellung seines Frischgewichts bei geschlossenem Waagekasten in der ersten halben Minute.
2. Exposition im Freien in unmittelbarer Nähe des Standorts.
Dauer 3 Minuten.
3. Schlußwägung im geschlossenen Waagekasten in den nächsten Sekunden.

Zur Feststellung der Transpiration eines Blattes wurde also die Zeit von ungefähr 4 Minuten benötigt. Nur in seltenen Fällen wurde diese Zeit überschritten, nämlich dann, wenn der Weg zwischen dem Standort der Pflanze und der Transpirationswaage zu groß war. Die Versuchsdauer betrug in diesem Falle 4 bis 5 Minuten, jedoch wurde die Zeit von 5 Minuten während sämtlicher Messungen nie überschritten.

Dies ist von großer Bedeutung für die Genauigkeit der erhaltenen Transpirationswerte, da bei einem größeren Zeitaufwand bereits eine wesentliche Verringerung der Transpirationsgröße eintritt.

Die Temperatur und die Feuchtigkeit der Luft wurden mit dem Aspirationspsychrometer gemessen. Dasselbe war in der Nähe des Waagekastens in einer Höhe von 50 cm über dem Boden so aufgehängt, daß dadurch keine Störung der mikroklimatischen Verhältnisse am Standort der Versuchspflanzen verursacht wurde.

Als Bezugsgrößen für die Transpiration dienten das Frischgewicht und die Oberfläche der transpirierenden Pflanzenorgane. Sämtliche Werte sind auf Frischgewicht und Zeit als Bezugsgröße berechnet und in Milligramm pro Gramm und Minute (mg/gr. min), sowie zu Vergleichszwecken in Gramm pro Stunde und Gramm Frischgewicht (gr/gr. h) ausgedrückt. Außer der Bestimmung des Frischgewichts erfolgte bei den Transpirationmessungen an Blättern von *Saxifraga aizoon* und *Dianthus caesius* nebenher noch eine Oberflächenbestimmung. Nach Beendigung einer Messung wurde jeweils von dem betreffenden Blatt in einem Kopierrahmen auf Chlorsilberpapier die Größe seiner Oberfläche festgehalten, so daß zu einem späteren Zeitpunkt die Blattoberfläche mit dem Planimeter bestimmt werden konnte. Die Transpiration wurde in diesem Falle auf beiderseitige Blattfläche bezogen und in Gramm pro Quadratdezimeter und Stunde (gr/dm². h) angegeben.

In Abb. 26 ist der tägliche Verlauf der Transpiration von *Saxifraga aizoon* und *Dianthus caesius* in je zwei entsprechenden Kurven dargestellt. Eine Kurve setzt sich aus Werten zusammen, welche auf das Frischgewicht bezogen sind, aber keine absoluten Werte darstellen, weil das Frischgewicht im Verlauf des Tages nicht konstant bleibt (vgl. BOSIAN, 1933, S. 218). Die andere Kurve dagegen gibt die auf die Oberfläche bezogenen Transpirationswerte wieder. Der Verlauf dieser Kurven bestätigt die von BOSIAN (1933) auf Grund von Trockengewichtskurven festgestellte Tatsache, daß trotz der Ungenauigkeit des Frischgewichts als Bezugsgröße sich keine auffälligen Verschiedenheiten im Gang der täglichen Transpirationskurven einstellen. Besonders deutlich kommt dies im Tagesverlauf der Transpiration (s. auch Abb. 31) von *Saxifraga aizoon* zum Ausdruck. Hier weisen die Transpirationskurven, deren Werte auf das Frischgewicht bezogen sind, einen annähernd parallelen

Verlauf mit den Kurven auf, deren Werte sich auf die Oberfläche beziehen. Etwas größere Schwankungen als bei *Saxifraga aizoon* treten bei *Dianthus caesius* auf, aber auch hier bewirken diese noch keine wesentlichen Abweichungen im Verlauf der entsprechenden Tageskurven der Transpiration.

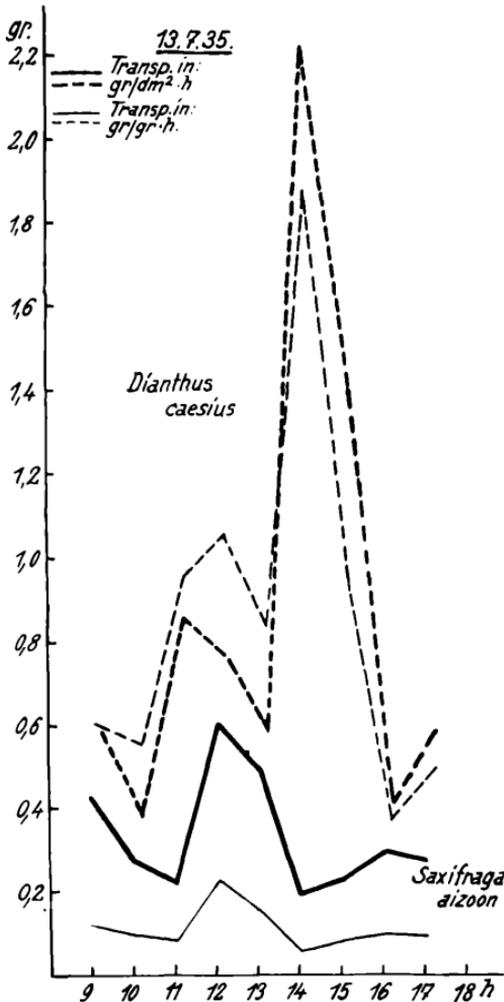


Abb. 26. Der Tagesverlauf der Transpiration von *Saxifraga aizoon* und *Dianthus caesius*, bezogen auf Oberfläche und Frischgewicht.

B. Über die Streuung bei parallelen Transpirationsbestimmungen.

Die unmittelbar nacheinander bestimmten Transpirationswerte möglichst gleich exponierter Blätter einer Versuchspflanze weisen oft beträchtliche Unterschiede in ihrer Größe auf. Diese bisher bei fast allen Transpirationsuntersuchungen festgestellte und von STOCKER (1931) mit

Streuung bezeichnete Erscheinung ist nach BOSIAN (1933, S. 222/223) mehr oder weniger eine Funktion der Stomataweite. Zur weiteren Klärung dieser Frage sollen die in den Abb. 27 und 28 dargestellten Tageskurven dienen. Sie veranschaulichen zunächst den Verlauf der täglichen Transpiration und der zugehörigen Streuung von *Saxifraga aizoon* bzw. *Dianthus caesius* und geben weiterhin noch einen Einblick in die Beziehungen zwischen Streuung und Transpiration. Die Streuung ist, wie es diese Paralleluntersuchungen zeigen, weitgehendst von der Größe der Transpiration abhängig. Mit steigender Transpiration nimmt die Größe der Streuung zu. Je extremere Werte die Faktoren annehmen, welche eine Steigerung der Transpiration bedingen, wie z. B. Temperatur, Wind- und Lichtstärke, desto größere Unterschiede dürfen wir in der Transpirationsintensität zweier Parallel-

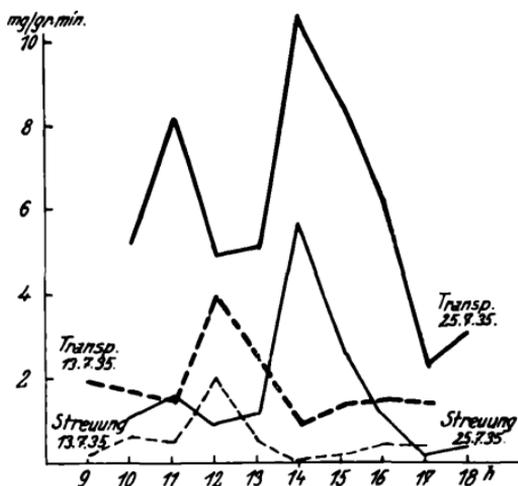


Abb. 27. Transpiration und Streuung von *Saxifraga aizoon* an zwei Sommertagen.

bestimmungen erwarten. Denn durch die oben genannten Faktoren erfolgt eine Steigerung der mikroklimatischen Standortsunterschiede und eine Verschärfung der expositionellen Gegensätze. Außerdem ist nach GEIGER (1934) die Temperatur der bodennahen Luftschichten durch so starke und mit steigender Insolation sich verschärfende Schwankungen charakterisiert, daß es am zweckmäßigsten ist, ihren Verlauf in Temperatur„bändern“ darzustellen. Diese Verschiedenheiten in Exposition und Mikroklima können bei den Parallelmessungen nicht ausgeschaltet werden, selbst dann nicht, wenn die zur Untersuchung gelangenden Blätter oder Sproßstücke der gleichen Pflanze angehören und von nahezu gleicher Exposition sind. Sie treten bei den Transpirationmessungen teilweise in Form erheblicher Streuungswerte auf und sind höchst wahrscheinlich auch Ursache für die Differenzen des Spaltöffnungszustandes, welche BOSIAN (1933, S. 223) an Punkten mit großer Streuung beobachtete.

Nach BOSIAN (1933, S. 222) ist „die Größe der Streuung in der Zeit um Mittag auffällig, die zu charakteristisch ist, um auf irgendwelche Zufälligkeiten zurückgeführt werden zu können“. Dies darf jedoch nicht dahin verallgemeinert werden, daß die größte Streuung stets um die Mittagszeit auftritt. Die größte Streuung fällt fast immer mit dem Maximum der Transpiration zusammen, welches wiederum nicht mit dem Maximum der Lufttemperatur zusammenzufallen braucht. Da nun die höchsten Werte der Transpiration häufig in den Mittags- oder den Nachmittagsstunden auftreten, können zu derselben Zeit auch des öfteren die größten Streuungswerte beobachtet werden.

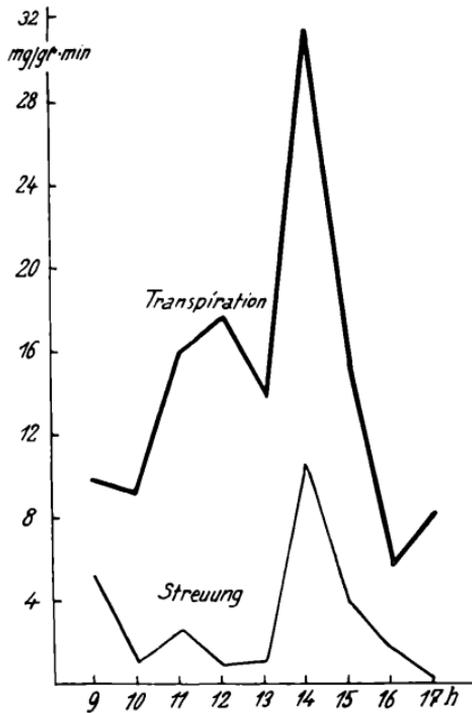


Abb. 28. Transpirations- und Streuungsverlauf von *Dianthus caesius* am 13. Juli 1935.

C. Ergebnisse der Transpirationmessungen.

Die Transpirationmessungen, welche neben den mikroklimatischen Messungen im Schutzgebiet Stiegelefelds während den Sommermonaten Juni, Juli und August 1935 stattfanden, geben uns ein Bild von der verschieden starken Transpiration der Alpen- und Wärmepflanzen und von der Transpirationseinschränkung an den heißen Sommertagen. Durch sorgfältige Auswahl der einzelnen Versuchspflanzen wurde ein Schädigung der Pflanzenbestände weitgehendst vermieden. Bei den Transpirationmessungen an einzelnen Blättern treten, wie bereits erwähnt, beachtenswerte individuelle Schwankungen der

Einzelwerte auf. Um diese bei der Betrachtung des täglichen Transpirationsverlaufes zu mildern, geben die stündlichen Transpirationswerte von *Saxifraga aizoon* und *Dianthus caesius* stets den Mittelwert zweier Messungen wieder. Solche Parallelbestimmungen konnten nur bei den Transpirationmessungen an einzelnen Blättern ausgeführt werden. Auf eine Durchführung von Parallelmessungen an ganzen Blattrosetten oder Sproßstücken wurde im Interesse der Schonung der geschützten Pflanzenbestände verzichtet.

1. Über die sommerliche Transpiration der Alpen- und Wärmepflanzen.

Aus der Reihe der Transpirationskurven wurden zur Betrachtung des Transpirationsverlaufes der Alpen- und Wärmepflanzen die Kurven zweier wolkenloser Sommertage ausgewählt. Abb. 29 zeigt uns den täglichen Verlauf der Transpirationswerte am 25. Juli 1935, dem Tage nach dem Auftreten der Temperaturhöchstwerte. Trotz der hohen Temperaturen, welche auch an diesem Tage herrschten — als Höchstwert der absoluten Lufttemperatur wurden mit dem Aspirationspsychrometer 28,8° C gemessen —, konnte noch eine lebhafte Transpiration festgestellt werden. Am stärksten transpiriert *Draba aizoides*. Der Wasserverbrauch dieser Alpenpflanze ist während des ganzen Tages höher als der von *Saxifraga aizoon*. Die Transpirationstagesumme beträgt am 25. Juli 1935 für *Draba aizoides* 4,928 gr/gr, für *Saxifraga aizoon* jedoch nur 2,213 gr/gr. Die weitaus geringste Transpiration weist das sukkulente *Sedum album* auf. Diese Pflanze steht mit einer Tagestranspiration von 1,375 gr/gr und dem Höchstwert von 9,34 mgr/gr. min weit hinter den entsprechenden sommerlichen Transpirationswerten von *Saxifraga aizoon* und *Draba aizoides* zurück. Im Vergleich mit den Transpirationswerten, welche BOSIAN (1933) für *Sedum album* anführt (Transpirationshöchstwert 0,31 mgr/gr. min und Tagesverbrauch 77,2 mgr/gr), weisen obige Werte eine erstaunliche Höhe auf. Dies ist darauf zurückzuführen, daß BOSIAN seine Messung an einem Tag im Oktober bei stark wechselnder Bewölkung ausführte und so nur die schwache herbstliche Transpiration von *Sedum album* erfaßte.

Ein ähnliches Transpirationsverhältnis zeigt die Messung vom 22. August 1935 (s. Abb. 30), jedoch finden wir hier durchschnittlich größere Transpirationswerte als am 25. Juli 1935, obwohl die Temperatur an diesem Tage niedriger war (Höchstwert der absoluten Lufttemperatur 23,9° C), da in der Zwischenzeit Regenfälle eine Erhöhung des Bodenwassergehaltes bewirkten (vgl. HÄRTEL, 1936, S. 20). Diese Messung gibt uns außer den Transpirationswerten von *Draba aizoides*, den Werten einer besonnten und einer sich stets im Schatten befindlichen Rosette von *Saxifraga aizoon*, noch den täglichen Transpirationsverlauf von *Dianthus caesius* wieder.

Wie weit die Transpiration einer Schattenpflanze der Transpiration derselben Pflanze am sonnigen Standort nachsteht, kommt in den betreffenden Kurven (b, A) der Abb. 30 für *Saxifraga aizoon* zum Aus-

druck. Es beträgt am 22. August 1935 der Tageswasserverbrauch von *Saxifraga aizoon* an stets schattigem Standort nur 1,165 gr/gr. Am sonnigen Standort weist sie dagegen einen Tagesverbrauch von 3,844 gr/gr auf. Besonders auffällig ist die außerordentlich hohe Transpiration,

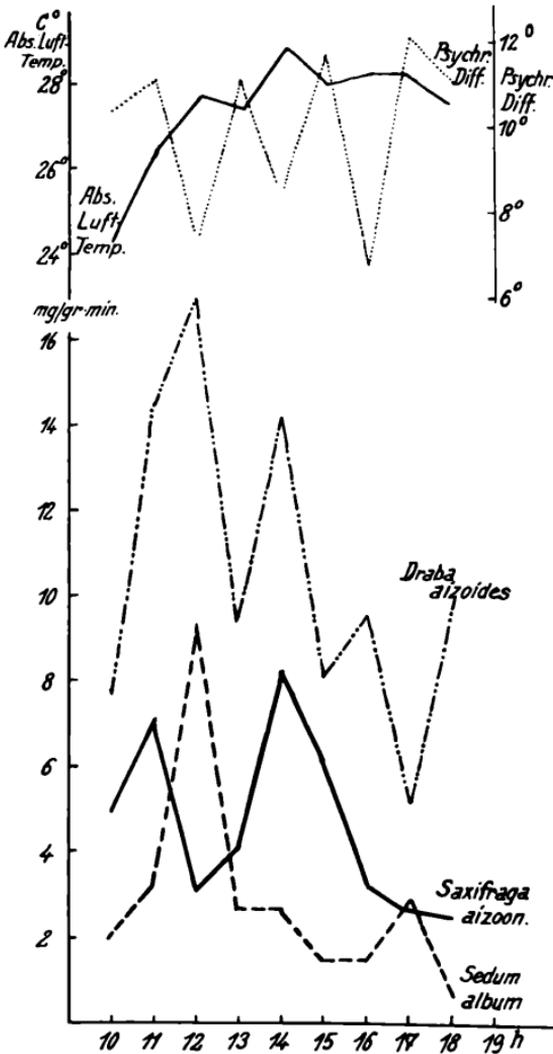


Abb. 29. Der Transpirationsgang von *Draba aizoides*, *Saxifraga aizoon* und *Sedum album*, sowie der Verlauf der absoluten Lufttemperatur und der Psychrometerdifferenz am 25. Juli 1935.

welche *Dianthus caesius* im Vergleich zu den Alpenpflanzen besitzt (Tagestranspiration am 22. August 1935: 9,653 gr/gr). Jedoch nicht nur an diesem Tage, sondern im Verlauf sämtlicher Messungen ist die Transpiration dieser xeromorphen Pflanze stets größer, als die der anderen Versuchspflanzen.

Einen Einblick in die Transpirationsverhältnisse geben uns noch die in Tabelle 9 zusammengestellten Tageswerte des Wasserverbrauchs verschiedener Versuchspflanzen an verschiedenen Tagen.

Tabelle 9. Die Transpirationssummen einiger Alpen- und Wärmepflanzen an verschiedenen Sommertagen.

Datum und Station	Zeit	Pflanze	Tagestranspiration		Witterung
			in g/g Frischgewicht	in g/dm ² Oberfläche	
25. 6. 35 Station 1	10 ²⁸ —18 ⁰¹	<i>Saxifraga aizoon</i> , Blatt	2,890	8,462	Bewölkung: 0— ¹ / ₁₀ , ab 15 h ⁵ / ₁₀ — ⁹ / ₁₀ . Wind: kaum spürbar. Mittl. abs. Luft-Temp.: 27,4° C Mittl. rel. Luft-Feucht.: 43 ⁰ / ₁₀ .
11. 7. 35 Station 2	10 ¹⁰ —18 ¹⁵	<i>Saxifraga aizoon</i> , Blatt	1,867	6,333	Bewölkung: wolkenlos (0). Wind: ganz schwach. Mittl. abs. Luft-Temp.: 29,3° C. Mittl. rel. Luft-Feucht.: 35 ⁰ / ₁₀ .
13. 7. 35 Station 3	8 ⁵⁵ —17 ⁰⁰	<i>Saxifraga aizoon</i> , Blatt	0,913	2,742	Bewölkung: 0— ² / ₁₀ , ab 13 h ⁶ / ₁₀ . Wind: ganz leicht. Mittl. abs. Luft-Temp.: 27,0° C. Mittl. rel. Luft-Feucht.: 36 ⁰ / ₁₀ .
	9 ¹³ —17 ²⁰	<i>Dianthus caesius</i> , Blatt	6,916	7,069	
	11 ²⁰ —17 ²⁵	<i>Dianthus caesius</i> , Sproßstück	1,231	—	
14. 7. 35 Station 1	10 ³² —17 ²⁸	<i>Saxifraga aizoon</i> , Blatt	1,873	4,581	Bewölkung: wolkenlos (0). Wind: ganz leicht. Mittl. abs. Luft-Temp.: 26,7° C. Mittl. rel. Luft-Feucht.: 45 ⁰ / ₁₀ .
	10 ⁴⁷ —17 ³³	<i>Draba aizoides</i> , Blattrosette	4,071	—	
25. 7. 35 Station 1	10 ²⁴ —18 ¹¹	<i>Saxifraga aizoon</i> , Blatt (A), sonniger Standort, Expos. in der Sonne	2,213	4,959	Bewölkung: wolkenlos (0). Wind: ganz schwach. Mittl. abs. Luft-Temp.: 27,4° C. Mittl. rel. Luft-Feucht.: 37 ⁰ / ₁₀ .
	10 ³⁵ —18 ²⁵	<i>Saxifraga aizoon</i> , Blatt (a), schattiger Standort, Expos. in der Sonne	2,847	7,173	
	10 ⁴⁵ —18 ³⁰	<i>Draba aizoides</i> , Blattrosette	4,928	—	
	10 ⁵¹ —18 ³⁵	<i>Sedum album</i> , Sproßstück	1,375	—	
22. 8. 35 Station 1	10 ⁰² —17 ¹¹	<i>Saxifraga aizoon</i> , Blatt (A), sonniger Standort, Expos. in der Sonne	3,844	9,942.	Bewölkung: wolkenlos (0). Wind: ganz schwach. Mittl. abs. Luft-Temp.: 22,7° C. Mittl. rel. Luft-Feucht.: 50 ⁰ / ₁₀ .

[Noch Tabelle 9]

Datum und Station	Zeit	Pflanze	Tagestranspiration		Witterung
			in g/g Frischgewicht	in g/dm ² Oberfläche	
22. 8. 35 Station 1	10 ¹² —17 ²⁰	<i>Saxifraga aizoon</i> , Blatt (a), schattiger Standort, Expos. in der Sonne	2,892	8,097	s. oben
	10 ²² —17 ²⁰	<i>Saxifraga aizoon</i> , Blatt (b), schattiger Standort, Expos. im Schatten	1,165	3,368	
	10 ³⁰ —17 ²⁸	<i>Dianthus caesius</i> , Blatt	9,653	15,946	
	10 ⁴⁰ —17 ²³	<i>Dianthus caesius</i> , Sproßstück	4,585	—	
	10 ⁴¹ —17 ²⁸	<i>Draba aizoides</i> , Blattrosette	5,410	—	

Nachdem bisher nur Transpirationstagesummen angeführt wurden, sollen nun die absoluten Werte das Bild von den Transpirationsverhältnissen der Alpen- und Wärmepflanzen noch vervollständigen. Im Verlauf der Messungen wurden folgende Höchstwerte der Transpiration festgestellt. Sie betragen für:

<i>Dianthus caesius</i> , Blatt	(22. 8. 35): 48,61 mgr/gr. min
<i>Draba aizoides</i> , Blattrosette	(22. 8. 35): 20,98 mgr/gr. min
<i>Saxifraga aizoon</i> , Blatt	(22. 8. 35): 18,11 mgr/gr. min
<i>Sedum album</i> , Sproßteil mit Blättern	(25. 7. 35): 9,34 mgr/gr. min

Das bei *Dianthus caesius* gemessene außerordentlich große Maximum gehört zu den höchsten Werten, welche bisher bei Transpirationmessungen beobachtet wurden. Nur die Wüstenwerte von VASSILJEV (1931) sind noch von größerem Ausmaße. Berechnen wir den Energieverbrauch (s. HUBER, 1935, S. 81/82), so ergibt die Transpiration bei *Dianthus caesius* von 48,61 mgr/gr. min, oder 4,375 gr/dm². h den beachtenswerten Wärmeentzug von 0,43 cal/cm². min (s. Tabelle 10). Auch bei *Saxifraga aizoon* konnte ein ansehnlicher Wärmeentzug durch die Transpiration festgestellt werden. Dies wird aus Tabelle 10 ersichtlich, in welcher eine Reihe höherer Transpirationswerte von *Dianthus caesius* und *Saxifraga aizoon* mit dem jeweils dazugehörigen Energieverbrauch angeführt sind.

Tabelle 10. Die höchsten beobachteten Transpirationswerte von *Dianthus caesius* und *Saxifraga aizoon* und der dadurch bedingte Energieverbrauch.

<i>Dianthus caesius</i>				<i>Saxifraga aizoon</i>			
Absolute Luft-Temperatur in C°	Transpiration		Wärme-entzug cal/cm ² . min	Absolute Luft-Temperatur in C°	Transpiration		Wärme-entzug cal/cm ² . min
	in mg/g. min	in g/dm ² . h			in mg/g. min	in g/dm ² . h	
20,0°	48,61	4,375	0,43	23,8°	16,13	3,214	0,31
23,4°	28,37	3,333	0,32	22,9°	18,11	2,632	0,25
26,2°	41,66	3,000	0,29	20,0°	14,98	2,500	0,24
23,6°	34,48	3,000	0,29	19,2°	10,70	2,500	0,24
23,9°	29,41	3,000	0,29	23,8°	13,02	2,174	0,21
23,6°	26,31	2,500	0,24	20,0°	13,37	2,143	0,20
20,0°	22,22	2,500	0,24	23,8°	13,02	2,143	0,20
23,4°	21,74	2,500	0,24	—	—	—	—

2. Beobachtungen über die Transpirationseinschränkung bei *Saxifraga aizoon*.

Eine Einschränkung der Transpiration von *Saxifraga aizoon* tritt bei vergleichender Betrachtung der an demselben Standort ausgeführten Transpirationsmessungen vom 25. Juli 1935 und 22. August 1935 in Erscheinung. An beiden Tagen wurde den Untersuchungen folgende Versuchsanordnung zugrunde gelegt:

- Transpirationsmessung an *Saxifraga aizoon* (Blatt), an stets besonntem Standort. Exposition der untersuchten Blätter in der Sonne. (S. Abb. 31, Kurve A.)
- Transpirationsmessung an *Saxifraga aizoon* (Blatt), an stets beschattetem Standort. Exposition der untersuchten Blätter ebenfalls in der Sonne. (S. Abb. 31, Kurve a.)

Am 25. Juli 1935 waren die Blätter von *Saxifraga aizoon* am sonnigen Standort alle nach dem Rosettenmittelpunkt zu eingerollt, die Blätter der Schattenpflanze dagegen noch in normaler Ruhelage. Im täglichen Transpirationsgang wies an diesem Tage die Schattenpflanze fast ausschließlich höhere Minutenwerte auf als die Pflanze in voller Sonne (s. Abb. 31, I und Tabelle 9). Die Transpiration in der Zeit von 10²⁴ bis 18¹⁴ Uhr betrug für erstere 2,213 gr/gr oder 4,959 gr/dm². Für letztere betrug die Tagestranspiration in der Zeit von 10³⁵ bis 18²⁵ Uhr jedoch 2,847 gr/gr oder 7,173 gr/dm². Ein anderes Verhalten zeigte der tägliche Transpirationsgang am 22. August 1935. In der Zwischenzeit setzte Regen ein, die Temperatur ging zurück und die Luftfeuchtigkeit nahm zu. Daher waren bei der Messung am 22. August 1935 die Blattrosetten von *Saxifraga aizoon* nicht mehr eingerollt, sondern geöffnet. Die Pflanzen hatten sich von den hohen sommerlichen Temperaturen wieder erholt.

Es zeigte sich nun, daß an diesem Tage die Transpiration von *Saxifraga aizoon* am sonnigen Standort stärker war als die Transpiration der Schattenpflanze (s. Abb. 31, II und Tabelle 9). Für Blatt (A) betrug die Tagestranspiration diesmal 3,844 gr/gr oder 9,942 gr/dm², in der Zeit von 10⁰² bis 17¹¹ Uhr, für Blatt (a) aber nur 2,892 gr/gr oder 8,097 gr/dm², in der Zeit von 10¹² bis 17²⁰ Uhr. Der normale Transpirationsgang war jetzt wieder hergestellt.

Die Transpirationseinschränkung am 25. Juli 1935, welche dadurch erkenntlich ist, daß die Pflanze am sonnigen Standort eine geringere Transpiration aufweist als die Schattenpflanze, ist wohl hauptsächlich

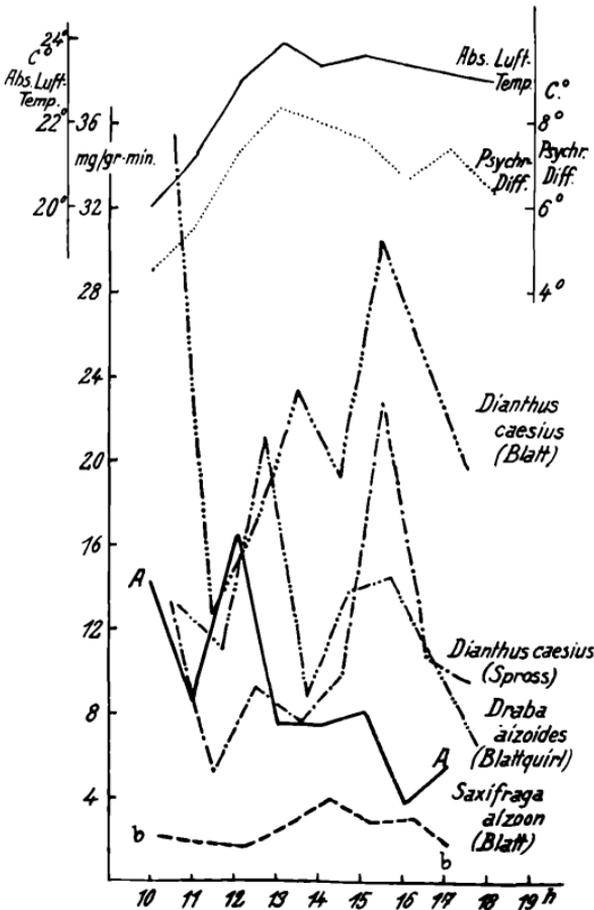


Abb. 30. Der tägliche Transpirationsverlauf einiger Alpen- und Wärmepflanzen am 22. August 1935.

- A ——— A = Transpiration von *Saxifraga aizoon* am sonnigen Standort, Exposition in der Sonne.
- b - - - - b = Transpiration von *Saxifraga aizoon* am schattigen Standort, Exposition im Schatten.

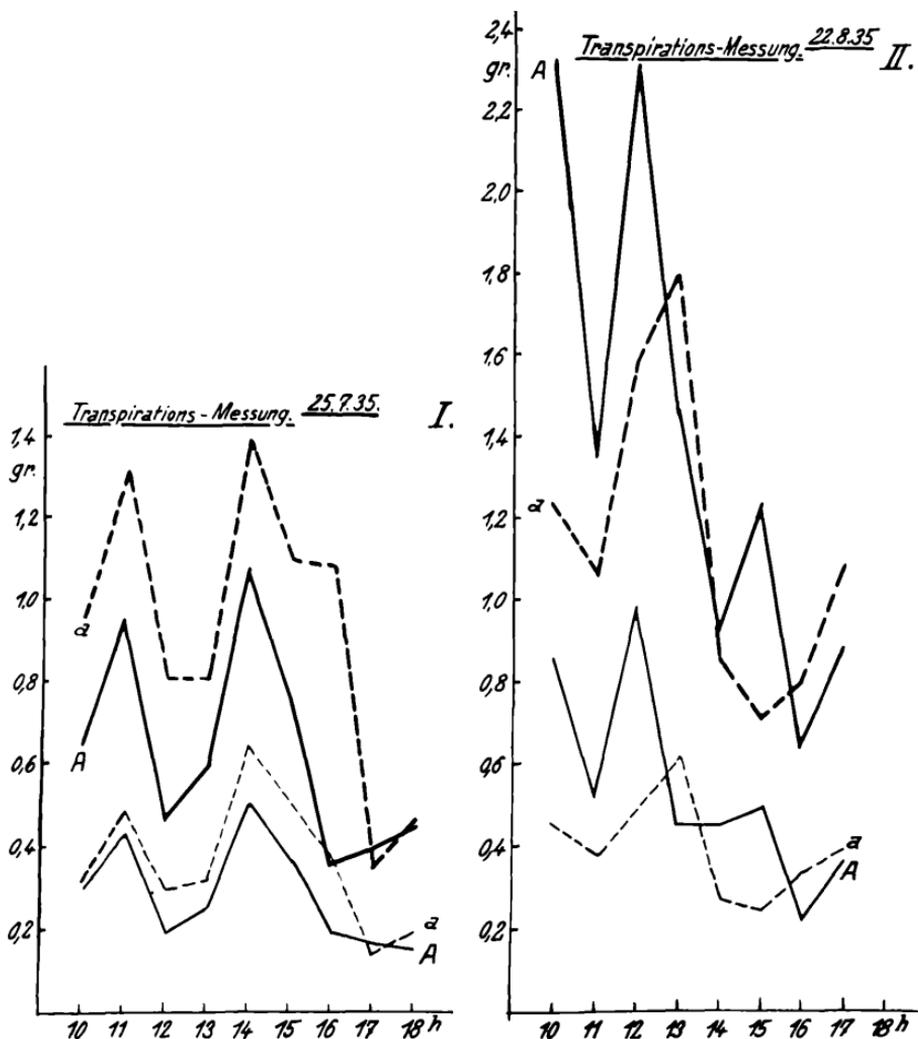


Bild 31. Transpirationsgang von *Saxifraga aizoon* eines sonnigen (A) und eines schattigen (a) Standortes, an zwei wolkenlosen Sommertagen. — Die Exposition der Blätter erfolgte in der Sonne.

————— Transpiration in $g/dm^2 \cdot h$. - - - - - Transpiration in $g \cdot h$.

eine Folge der Stomataregulierung. Außerdem bewirkt aber auch die Einrollung der Rosettenblätter eine Herabsetzung der Transpiration von *Saxifraga aizoon*. Eine ähnliche Transpirationseinschränkung durch Blatteinrollung konnte HÄRTEL (1936) an *Hieracium pilosella* beobachten. Jedoch darf dieser Erscheinung kein allzu großer Einfluß auf den Transpirationsverlauf zugesprochen werden. Von weit größerer Wichtigkeit ist diese Einrollung der Rosettenblätter für den Wärmehaushalt der Pflanze.

Abschnitt IV.

Über den Wärmehaushalt der Alpen- und Wärmepflanzen.

A. Methodik.

Die mikroklimatischen Untersuchungen geben uns einen Einblick in das Klima der unmittelbaren Umgebung der Alpen- und Wärmepflanzen. Trotz eines bestimmenden Einflusses, welchen die Umgebungstemperatur auf die Körpertemperatur der Pflanze ausübt, herrscht zwischen beiden keinerlei Identität. Vielmehr zeigt die Pflanzentemperatur des öfteren beachtenswerte Unterschiede gegenüber der Lufttemperatur und wird dadurch zu einem selbständigen ökologischen Faktor (vgl. HUBER, 1935).

Unter Ausnutzung der mikroklimatischen Erkenntnisse sind in dem leider sehr regenreichen Sommer 1936 Blatt-Temperaturmessungen am natürlichen Standort im Schutzgebiet ausgeführt worden. Die Messungen erstrecken sich über die Monate Juni, Juli und August. Es liegen von insgesamt 10 Versuchstagen die zum größten Teil vollständigen Tageskurven der Temperatur von 76 verschiedenen Versuchspflanzen vor. Weiterhin setzen sich die regelmäßig halbstündlich durchgeführten Messungen aus insgesamt 1637 Temperatureinzelwerten zusammen. Als Versuchspflanzen wurden vorwiegend typische Vertreter der Alpen- und Wärme- bzw. Steppenheidepflanzen ausgewählt. Sie gehören folgenden 15 verschiedenen Arten an:

- | | |
|--|---|
| 1. <i>Allium montanum</i> , | 9. <i>Euphorbia cyparissias</i> , |
| 2. <i>Anthericum ramosum</i> , | 10. <i>Festuca ovina</i> var. <i>glauca</i> , |
| 3. <i>Arabis arenosa</i> , | 11. <i>Geranium robertianum</i> , |
| 4. <i>Carduus defloratus</i> , | 12. <i>Hieracium bupleuroides</i> , |
| 5. <i>Centaurea scabiosa</i> , | 13. <i>Rumex scutatus</i> , |
| 6. <i>Chrysanthemum leucanthemum</i> , | 14. <i>Saxifraga aizoon</i> , |
| 7. <i>Dianthus caesius</i> , | 15. <i>Sedum album</i> . |
| 8. <i>Draba aizoides</i> , | |

Zur Messung der Pflanzentemperatur stand eine Thermonadel (Material: Eisen-Konstantan) sowie ein Drehspulen- Zeigergalvanometer mit Bandaufhängung und einer Ablesegenauigkeit von 0,01 mV oder umgerechnet von 0,1° C zur Verfügung. Gleichzeitig mit den Pflanzentemperaturmessungen erfolgte noch die Messung der Lufttemperatur in 2 bzw. 10 cm Höhe, das heißt in der Nähe des untersuchten Pflanzenorgans, die Messung der Temperatur der obersten Bodenschicht, der Evaporation in 2 bis 3 cm Höhe und der Beleuchtungsstärke.

Die Beleuchtungsstärke wurde mit dem lichtelektrischen Beleuchtungsmesser (nach B. LANGE) gemessen. Er besteht aus einer Photozelle, die bei Belichtung unmittelbar elektrischen Strom liefert, welcher durch ein Mikroampermeter, dessen Skala in Lux geeicht ist, gemessen wird. Die Beleuchtungsstärke kann somit direkt abgelesen werden. Dieser lichtelektrische Beleuchtungsmesser ist mit zwei umschaltbaren Meßbereichen für 1 und 10 Lux pro Skalenteil versehen. Der hierdurch erzielte Meßbereich von 1 bis 1000 Lux reichte bei unseren Beleuchtungsmessungen am natürlichen Pflanzenstandort bei weitem nicht aus.

Es mußte deshalb der Meßbereich, durch Verwendung des aufsteckbaren Platinopalglasfilters (nach PETTERSSON), um das hundertfache erweitert werden, so daß Beleuchtungsstärken bis 100000 Lux, also fast annähernd direkte Sonnenstrahlung, meßbar wurde.

Sämtliche Messungen der Pflanzentemperaturen wurden an intakten Pflanzen und am natürlichen Standort ausgeführt. Um ein möglichst genaues Bild vom täglichen Verlauf der Pflanzentemperaturen zu erhalten, fanden, wie bereits erwähnt, die Messungen in halbstündlichen Intervallen statt. Außerdem wurde die Thermonadel stets auf der nicht besonnten Blattseite eingestochen und die Temperatur kurz nach erfolgtem Einstich abgelesen.

B. Allgemeine Untersuchungen über den Wärmehaushalt der Alpen- und Wärmepflanzen.

I. Die Beziehungen der Pflanzentemperatur zur Beleuchtungsstärke und zum Wind.

Die Hauptfaktoren, welche ausschlaggebend in die Gestaltung des Temperaturverlaufes in den pflanzlichen Organen eingreifen, sind die Insolation, Windstärke und Austausch. Einerseits wächst die Differenz der Temperatur von Pflanze und Luft mit steigender Insolation (SCHRATZ und FRITZSCHE, 1932). Andererseits kann die Luftbewegung unmittelbar durch erhöhte Wärmeabgabe an die vorüberstreichende kühlere Luft, mittelbar durch Steigerung der Transpiration eine Abkühlung des Blattes bewirken (FRITZSCHE, 1933, S. 291).

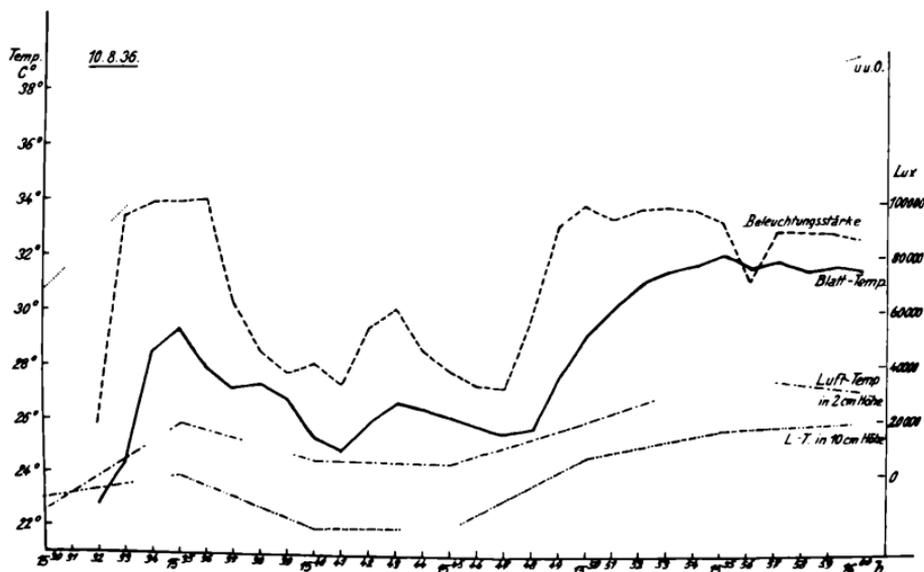


Bild 32. Der Temperaturverlauf in einem horizontal festgehaltenen Blatt von *Saxifraga aizoon* bei wechselnder Beleuchtungsstärke.

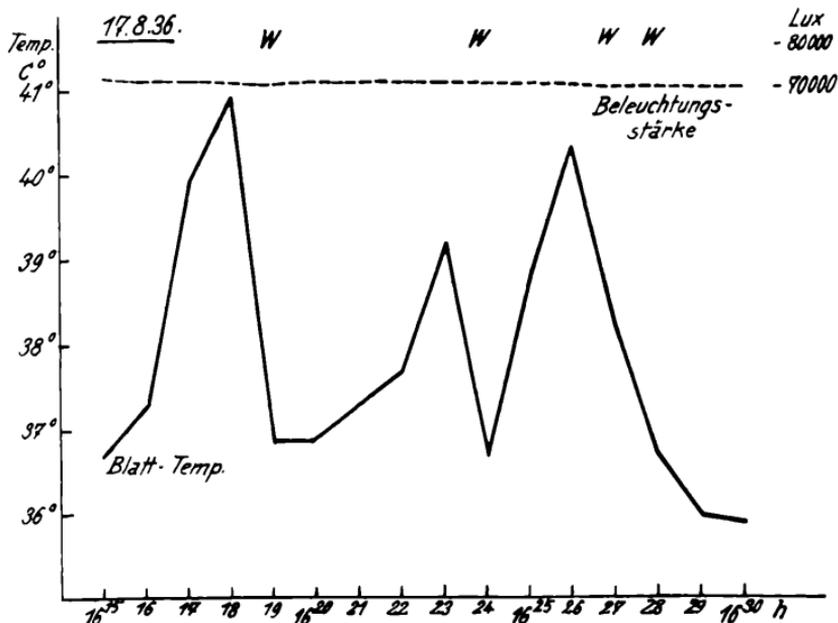


Bild 33. Temperaturgang im eingekrümmten Blatt von *Saxifraga aizoon* bei gleichbleibender Beleuchtungsstärke und bewegter Luft. (W = Windstoß.)

In Abb. 32 ist die Abhängigkeit der Pflanzentemperatur von der Beleuchtungsstärke dargestellt. Von Minute zu Minute wurde die Temperatur in einem der Bodenoberfläche aufliegenden Blatt von *Saxifraga aizoon* und gleichzeitig die jeweils herrschende Beleuchtungsstärke gemessen. Da während der ganzen Versuchsdauer kein spürbarer Wind die unmittelbar über der Bodenoberfläche liegenden Luftschichten störte, kommt bei der Betrachtung des Kurvenverlaufs deutlich zum Ausdruck, wie sich der Wechsel in der Beleuchtungsstärke im Verlauf der Blatttemperatur widerspiegelt. Unmittelbar mit abnehmender bzw. ansteigender Intensität der Beleuchtung sinkt bzw. erhöht sich die Temperatur im Pflanzenkörper. Ein ausgeprägter, d. h. mehrgradiger Temperaturrückgang oder Anstieg in der Pflanze wird jedoch im allgemeinen erst durch eine Verminderung oder Erhöhung der Beleuchtungsstärke in Höhe von 10 000 Lux und darüber verursacht. Bei kleineren Schwankungen konnten keine deutlichen Änderungen der Pflanzentemperatur beobachtet werden.

Anders liegen die Verhältnisse bei der Einwirkung des Windes auf die Blatt-Temperatur. Sogar der geringste, eben noch spürbare Windstoß bewirkt einen meßbaren Temperaturabfall im Blatt. Leider war es nicht möglich, bei diesen Untersuchungen die Windstärke zu messen, weil ein geeignetes Meßinstrument fehlte und weil die schwachen Windstöße in den untersten Luftschichten (0 bis 3 cm Höhe) mit dem Schalenkreuzanemometer wegen seiner Größe und Trägheit nicht erfaßt werden

konnten. Ferner wurde nur die temperaturherabsetzende Wirkung des Windes in die Untersuchungen einbezogen, nicht aber die mildernde Wirkung, welche der warme Wind auf den durch starke nächtliche Ausstrahlung in der Pflanze entstehenden Temperaturabfall (vgl. FRITZSCHE, 1933, S. 291) ausüben kann.

Um einen Einblick in die durch Windeinfluß hervorgerufenen Schwankungen der Pflanzentemperatur zu erhalten, wurde der Verlauf der Blatttemperatur von *Saxifraga aizoon* bei annähernd gleichbleibender Beleuchtungsstärke gemessen. Dadurch werden die infolge Beleuchtungsschwankung hervorgerufenen Schwankungen der Pflanzentemperatur ausgeschaltet und die temperaturerniedrigende Wirkung des Windes kommt im Gange der aus Minutenwerten sich zusammensetzenden Blatttemperaturkurve (s. Abb. 33) zum Vorschein. Bereits der kürzeste Windstoß bewirkt einen deutlich sichtbaren Temperaturabfall von einem oder mehreren Graden. Es konnten während diesen Untersuchungen Temperaturerniedrigungen im Blatt von *Saxifraga aizoon* bis zu 4,0 C in der Minute beobachtet werden, welche infolge annähernd konstanter Beleuchtungsstärke fast ausschließlich durch die abkühlende Wirkung des Windes bedingt sind. Diese abkühlende Wirkung dürfte im vorliegenden Falle, wo die Blätter gegenüber der Luft wesentlich übertemperiert sind, in erster Linie auf die Steigerung des Wärmeaustausches zwischen Blatt und bewegter Luft zurückzuführen sein, inwieweit auch eine abkühlende Wirkung infolge Transpirationssteigerung durch den Wind in Rechnung zu stellen ist, bleibe hier unentschieden. Der Temperatursturz in dem sukkulenten und verhältnismäßig dicken Blatt von *Saxifraga* wird in einem dünneren Blatt noch deutlicher, da hier die Blattdicke einer Abkühlung durch den Wind nicht mehr verzögernd entgegenwirkt. So fand z. B. SMITH (zitiert nach HARDER, 1930, S. 374) in einem Kakaoblatt einen durch den Wind bedingten Temperaturabfall von 10 C innerhalb einer Minute. Jeder Windstoß trägt zur Erhöhung des Wärmeaustausches bei und bewirkt dadurch das rasche Absinken der Temperatur im pflanzlichen Organismus.

II. Über die Temperaturverhältnisse in den untersuchten Pflanzen.

Die Messungen von Pflanzentemperaturen am natürlichen Standort beschränkten sich bisher vorwiegend auf zufällige Stichproben. Erstmals wurden von FRITZSCHE und MICHAELIS fortlaufende Messungen der Temperaturen in pflanzlichen Organismen ausgeführt und damit der von HUBER (1935) für das Gebiet des pflanzlichen Wärmehaushaltes geforderte Schritt von der Analyse zur Synthese vollzogen. Derselbe Weg wurde bei den Untersuchungen an den Alpen- und Wärmepflanzen des oberen Donautales beibehalten. Denn nur so ist es möglich, die erhaltenen Pflanzentemperaturwerte dem Bereich der Zufälligkeit zu entziehen, ihnen eine ziemlich sichere Grundlage zu geben und ein genaues Bild vom Wärmehaushalt dieser Pflanzen zu erhalten.

Die Insolation und der Wärmeaustausch sind als die beiden Hauptfaktoren bekannt, welche die Temperatur im Pflanzenkörper bestimmen und die Größe ihrer Abweichung von der Temperatur der umgebenden Luftschicht festlegen. Je stärker die Insolation und je schwächer der Austausch ist, desto größere Übertemperaturen weisen die pflanzlichen Organe zu der sie umgebenden Luft auf.

1. Über die beobachteten Maximaltemperaturen in den Versuchspflanzen und ihre Abhängigkeit von der Pflanzenstruktur.

Nach FRITZSCHE (1933, S. 310) kommt der Struktur der Pflanze eine wärmeökologisch große Bedeutung zu. Dies zeigen auch meine Untersuchungen, es konnte festgestellt werden, daß die höchsten Temperaturen stets in sukkulenten Pflanzen auftreten. Unter diesen treten wiederum diejenigen Pflanzen besonders hervor, welche Sukkulenz in Verbindung mit Rosettenwuchs aufweisen (vgl. HARDER, 1930, S. 730/31). So konnten bei den Messungen an den Alpen- und Wärmepflanzen die höchsten Pflanzentemperaturen (s. Tabelle 11) an der durch Sukkulenz und Rosettenwuchs ausgezeichneten Alpenpflanze, *Saxifraga aizoon*, beobachtet werden. In dem nicht aus der natürlichen Lage gebrachten Blatt von *Saxifraga aizoon* wurde als Höchstwert die Temperatur von $43,5^{\circ}$ C und in dem ebenfalls sukkulenten Blatt von *Sedum album* der Höchstwert $40,7^{\circ}$ C festgestellt. Jedoch nicht nur die Temperaturhöchstwerte, sondern auch die vergleichende Betrachtung des täglichen Verlaufs der Blatt-Temperatur zeigt deutlich die höhere Insulationswärme in den Blättern von *Saxifraga aizoon*. Einer allzu starken Erwärmung der Blätter von *Sedum album*, als Folge der geringen Transpiration (s. S. 130) und des dadurch bedingten geringen Wärmeverbrauchs, tritt hauptsächlich der Wärmeaustausch, begünstigt durch Rosettenmangel und Kleinheit der Blätter, entgegen. Dies kommt auch in den später noch zu betrachtenden und in Tabelle 11 angeführten Abweichungen von der Lufttemperatur zum Ausdruck.

Daß auch in Pflanzen mit Rosettenwuchs, jedoch ohne Sukkulenz, verhältnismäßig hohe Temperaturen auftreten, beweisen uns die Temperaturmessungen in den Blättern der grundständigen Rosetten von *Arabis arenosa* und *Carduus defloratus*. Als Höchsttemperatur wurde im Blatt von *Arabis arenosa* $38,0^{\circ}$ C und im Blatt von *Carduus defloratus* $35,6^{\circ}$ C gemessen. Die Temperaturwerte in den grundständigen Rosettenblättern dieser beiden Pflanzen sind hauptsächlich durch eine starke Verringerung des Austausches bedingt. Dazu trägt einerseits die Verkleinerung der Oberfläche infolge Zusammenschließens der Blätter zur Rosette und andererseits die geringe Erhebung der Blattrosetten über die Bodenoberfläche bei. Im Gegensatz hierzu steht *Draba aizoides* mit einer maximalen Blatt-Temperatur von $32,4^{\circ}$ C. Ihre grundständige Rosette ist aus vielen kleinen schmalen Blättchen zusammengesetzt und wird dadurch dem Austausch zugänglicher (s. HUBER, 1935, S. 62). Weiterhin wirkt der durch die starke Transpiration (s. S. 130) bedingte Wärmeverbrauch bei *Draba aizoides* einer Temperatursteigerung durch Insolation entgegen.

Tabelle 11. Die höchsten beobachteten Werte der Pflanzentemperatur und der Übertemperatur gegenüber der Luft.

Pflanze	Maximale Blatt- Temperatur C°	Luft- Temperatur C°	Differenz zwischen Pflanzen- und Luft- Temperatur C°	Maximale Über- Temperatur gegenüber der Luft C°
<i>Allium montanum</i> , Blatt	31,0	33,7	— 2,7	2,2
<i>Allium montanum</i> , Stengel	28,9	30,4	— 1,5	2,0
<i>Allium montanum</i> , Blüte	25,2	25,5	— 0,3	2,8
<i>Anthericum ramosum</i> , Blatt	36,5	33,0	3,5	4,2
<i>Arabis arenosa</i> , Blatt	38,0	31,2	6,8	6,8
<i>Carduus defloratus</i> , Blatt	35,6	34,4	1,2	4,4
<i>Centaurea scabiosa</i> , Stengel	23,9	24,1	— 0,2	3,0
<i>Centaurea scabiosa</i> , Blüte	27,2	24,1	3,1	4,8
<i>Chrysanthemum leucanthemum</i> , Blatt	35,8	32,8	3,0	4,4
<i>Chrysanthemum leucanthemum</i> , Stengel	33,9	31,5	2,4	3,9
<i>Chrysanthemum leucanthemum</i> , Blüte	35,4	31,2	4,2	4,7
<i>Dianthus caesius</i> , Blattquirl	39,6	33,2	6,4	6,4
<i>Draba aizoides</i> , Blattrosette	32,4	26,6	5,8	5,8
<i>Euphorbia cyparissias</i> , Blatt	34,4	31,8	2,6	2,6
<i>Festuca ovina</i> var. <i>glauca</i>	30,5	33,7	— 3,2	0,6
<i>Geranium robertianum</i> , Blüte	23,1	24,1	— 1,0	2,9
<i>Hieracium bupleuroides</i> , Blatt	34,0	27,1	6,9	6,9
<i>Hieracium bupleuroides</i> , Stengel	28,1	27,8	0,3	1,5
<i>Hieracium bupleuroides</i> , Blüte	28,4	27,8	0,6	2,1
<i>Rumex scutatus</i> , Blatt	32,9	33,7	— 0,8	0,9
<i>Saxifraga aizoon</i> , Blatt, horizon- tal festgehalten	48,9	34,2	14,7	14,8
<i>Saxifraga aizoon</i> , Blatt, eingerollt	43,5	31,8	11,7	11,7
<i>Saxifraga aizoon</i> , Rosettenmittel- punkt	39,2	34,2	5,0	8,7
<i>Saxifraga aizoon</i> , gelbes, einge- rolltes Blatt	42,9	31,0	11,9	11,9
<i>Sedum album</i> , Blatt	40,7	34,4	6,3	8,8
<i>Sedum album</i> , Blüte	34,1	31,5	2,6	3,2

Die höchste Temperatur wurde in einem zwangsweise horizontal festgehaltenen, turgeszenten Blatt von *Saxifraga aizoon* gemessen. Sie betrug 48,9° C bei einer Temperatur der umliegenden Luft von 34,2 C. Wichtiger als die Feststellung der absoluten Temperaturmaxima ist die Frage nach der Wirkung dieser beobachteten Höchstwerte auf die be-

treffenden Pflanzen. Können die Pflanzen bei diesen Maximaltemperaturen ihre Lebensprozesse noch ungestört abwickeln, oder werden sie darin bereits gehemmt, oder sogar daran verhindert?

2. Der Einfluß der Maximaltemperaturen auf die Abwicklung der Lebensprozesse verschiedener Versuchspflanzen.

Im Verlauf der Untersuchungen konnten sowohl an den Wärmepflanzen, wie auch an der großen Zahl der Steppenheidepflanzen des Schutzgebietes keine schädlichen Wirkungen als Folgeerscheinung zu hoher Temperierung der pflanzlichen Organe beobachtet werden. Wir können daher vermuten, daß sich die Körpertemperaturen dieser Pflanzen in einer Höhe bewegen, welche nie die Höchstgrenze der Hitzeresistenz erreicht. Darüber soll uns ein Vergleich der höchsten beobachteten Pflanzentemperaturen mit den von SAPPER (1935) festgestellten Werten der Hitzeresistenz aufklären.

Für die charakteristischen Pflanzen der Steppenheide liegen, nach SAPPER (1935, S. 523), die Maximalwerte der Hitzeresistenz fast durchweg bei 48° C und darüber, so zum Beispiel für die *Dianthus*-Arten. Die im Schutzgebiet beobachtete maximale Erwärmung von *Dianthus caesius* beträgt jedoch nur 39,6° C. Noch krasser wird der Unterschied zwischen dem Maximalwert der Pflanzentemperatur und dem Maximalwert der Hitzeresistenz bei *Festuca ovina* var. *glauca*. SAPPER gibt für sie einen Maximalwert der Hitzeresistenz, bei halbstündiger Versuchsdauer, von 50,5° C an. Diesem hohen Resistenzwert steht nun eine maximale Erwärmung von nur 30,5° C entgegen. Auch das sukkulente *Sedum album* liegt mit seiner höchsten Blatt-Temperatur von 40,7° C noch beträchtlich unter dem Höchstwert der Hitzeresistenz. Denn für die *Sedum*-Arten schwanken nach SAPPER die Maximalwerte der Resistenz bei halbstündiger Erhitzungsdauer zwischen 48,5° C und 50° C.

Die oben ausgesprochene Vermutung wird also bestätigt. Die Körpertemperaturen der Steppenheide-, sowie vor allem der speziellen Wärmepflanzen des Schutzgebietes Stiegelefels, bewegen sich weit unterhalb der Höchstgrenze ihrer Hitzeresistenz. Selbst die stärkste sommerliche Insolation bewirkt in diesen Pflanzen keine Temperaturerhöhung, welche dem Ablauf der Lebensprozesse ungünstig wäre, oder sogar zu Hitzeschädigungen führen könnte.

Daß bei den Alpenpflanzen die Verhältnisse anders liegen, zeigt das Verhalten von *Saxifraga aizoon*. Sie erwies sich für die Untersuchung besonders günstig, weil sie bei insgesamt reichlichem Vorkommen auch noch Standorte besiedelt, die bereits durch die mikroklimatischen Untersuchungen als typische Steppenheidestandorte gekennzeichnet wurden. Die alpinen *Hieracium*-Arten, sowie *Draba aizoides*, sind dagegen auf solche Standorte beschränkt, an welchen die gemäßigten mikroklimatischen Verhältnisse ihren Lebensbedingungen am besten entsprechen. An den extremen Standorten gerät nun *Saxifraga aizoon*, infolge der durch Sukkulenz und Rosettenwuchs bedingten starken Erwärmungs-

zugänglichkeit, leicht in die Gefahr einer Angleichung der Körpertemperaturen an den Maximalwert der Hitzeresistenz. Nach den Untersuchungen von SAPPER liegt das Resistenzmaximum von *Saxifraga aizoon* bei achtstündiger Erhitzungsdauer bei 43° C bis 43,5° C und halbstündiger Erhitzung erhöht sich dasselbe auf 45,5° C bis 46,5° C. Diesen Höchstwerten der Resistenz stehen die beobachteten Temperaturhöchstwerte von 43,5° C im eingerollten und von 48,9° C im horizontal festgehaltenen Blatt von *Saxifraga aizoon* gegenüber. Besonders beachtenswert sind die Blatt-Temperaturen, welche das Resistenzmaximum überschreiten und am häufigsten in den horizontal festgehaltenen Blättern auftreten. Sie führen bereits nach einigen Minuten zum Auftreten von Welkungserscheinungen und nach wenigen Stunden zur vollständigen Austrocknung und Zerstörung des Blattes.

Die systematischen Temperaturmessungen in den Blätter von *Saxifraga aizoon* zeigen, daß durch die hohe sommerliche Insolation die Blatttemperaturen häufig den Maximalwert der Hitzeresistenz erreichen und für kurze Zeit sogar übertreffen. Temperaturen über 40° C in den Rosettenblättern von *Saxifraga aizoon* sind keineswegs selten. Als Beweis dafür sollen einige Tageshöchstwerte der Blatt-Temperatur von *Saxifraga aizoon* angeführt werden. Es betrug zum Beispiel die maximale Temperatur am

19. 6. 36	im eingerollten Blatt	37,9 C,
	im horizontal festgehaltenen Blatt	44,7 C,
21. 6. 36	im eingerollten Blatt	40,2 C,
	im horizontal festgehaltenen Blatt	45,8 C,
17. 7. 36	im eingerollten Blatt	43,5 C,
	im horizontal festgehaltenen Blatt	48,9 C,
17. 8. 36	im eingerollten Blatt	36,6 C,
	im horizontal festgehaltenen Blatt	40,8 C,
18. 8. 36	im eingerollten Blatt	39,3 C,
	im horizontal festgehaltenen Blatt	46,3 C.

Wir sehen, daß an diesen extremen Standorten *Saxifraga aizoon* sich hart an der Lebensgrenze befindet und im Sommer einen verzweifelten Kampf gegen den Hitzetod führt. Jedoch trotz aller Abwehrmaßnahmen kommt es häufig, begünstigt durch ein Defizit im Wasserhaushalt, zu den früher (S. 109) beschriebenen Hitzeschäden und zuletzt zum Absterben ganzer Rosetten.

3. Die Pflanzentemperatur und ihre Abweichung von der Temperatur der pflanzennahen Luftschicht.

Im Wärmehaushalt der Pflanzen spielen die Abweichungen von der Lufttemperatur eine bedeutende Rolle. Vermag doch diejenige Pflanze der Intensität der Strahlung am besten auszuweichen und die damit verbundene Steigerung der Körpertemperatur am günstigsten für ihre Lebensbedingungen zu gestalten, welche nur geringe Übertemperaturen gegenüber der pflanzennahen Luftschicht aufweist. Einen Einblick in

diese Verhältnisse geben uns die in Tabelle 11 zusammengestellten Werte der maximalen Übertemperierung verschiedener Pflanzenorgane gegenüber der Luft. Die geringsten Übertemperaturen wurden im Verlauf der Messungen bei *Festuca ovina* var. *glauca* beobachtet. Die höchste Übertemperatur betrug hier nur $0,6^{\circ}$ C. Weitere geringe Höchstwerte der Übertemperaturen konnten im Blatt von *Rumex scutatus* mit $0,9^{\circ}$ C, ferner im Stengel von *Hieracium bupleuroides* mit $1,5^{\circ}$ C, im Stengel und Blatt von *Allium montanum* mit $2,0^{\circ}$ C bzw. $2,2^{\circ}$ C und in *Euphorbia cyparissias* mit $2,6^{\circ}$ C festgestellt werden. Es wurde beobachtet, daß sich hauptsächlich diejenigen Pflanzenorgane am schwächsten über die umliegende Luft erwärmen, welche der Insolation die geringste Einstrahlungsfläche bieten. Denn nach HUBER (1935, S. 93) „nimmt bei nicht senkrechter Einstrahlung die Übertemperatur mit dem Sinus des Einfallswinkels ab“. Solche Pflanzenorgane sind vor allem die Halme der Gräser und die Stengel, welche selbst bei stärkster Insolation nur ganz geringe Übertemperaturen aufweisen. Zu diesen Organen gesellen sich noch einige Blätter, bei welchen Transpirationskühlung und leichter Wärmeaustausch einer starken Erwärmung über die Lufttemperatur entgegenwirkt. Diese Faktoren sind es, welche die geringe Übertemperatur des dünnen und dem Austausch leicht zugänglichen Blatt von *Rumex scutatus* verursachen.

Im Gegensatz zu diesen geringen Übertemperaturen treten die höchsten Übertemperaturen in solchen Pflanzenorganen auf, die der Bodenoberfläche aufliegen oder sich nur wenige Zentimeter von ihr abheben. Das absolute Maximum der Übertemperierung wurde im horizontal festgehaltenen Blatt von *Saxifraga aizoon* gemessen. Es beträgt $14,8^{\circ}$ C. Die horizontale Lage dieses Blattes ermöglicht eine nahezu senkrechte Einstrahlung und durch das Aufliegen des Blattes auf der Bodenoberfläche wird der Austausch ganz unbedeutend, da bekanntlich der Austausch mit abnehmender Höhe sinkt. Diese beiden Tatsachen — zusammen mit der Sukkulenz, welche gleichfalls den Wärmeaustausch herabsetzt — bilden die Grundlage der hohen Erwärmung des horizontalen Blattes von *Saxifraga aizoon* über die Temperatur der umliegenden Luftschicht. Die Verkleinerung des Einstrahlungswinkels gemeinsam mit der Zunahme des Austausches durch die, wenn auch geringe, Erhebung über die Bodenoberfläche, führen beim eingerollten Blatt von *Saxifraga aizoon* bereits zu einer Abnahme der Übertemperatur. Der Höchstwert ist um $3,1^{\circ}$ C niedriger als der des horizontalen Blattes und beträgt $11,7^{\circ}$ C. Noch stärker tritt das bei *Sedum album* zum Vorschein, denn die höchste bei ihr beobachtete Übertemperatur beträgt nur noch $8,8^{\circ}$ C. Aber auch an nicht sukkulenten Blättern konnten noch beachtenswerte Übertemperaturen festgestellt werden. So zeigen die, der Bodenoberfläche aufliegenden Blätter von *Hieracium bupleuroides* und *Arabis arenosa* eine maximale Erwärmung von $6,9^{\circ}$ C bzw. $6,8^{\circ}$ C über die Luft. Weiterhin bestätigen die Übertemperaturen von *Dianthus caesius*, daß selbst eine

kräftige Transpiration nicht in der Lage ist, durch die Transpirationskälte eine starke Übertemperierung der Blätter zu verhindern. Trotz der außerordentlich großen Transpiration von *Dianthus caesius* führt die Insolation, gefördert durch den schwachen Austausch in der Nähe der Bodenoberfläche, zu einer maximalen Übertemperierung dieser Pflanze von $6,4^{\circ}$ C. Zu den Versuchspflanzen mit verhältnismäßig hoher Erwärmung über die pflanzennahe Luftschicht ist auch noch *Draba aizoides* zu zählen, deren maximale Übertemperatur im Blatt $5,8^{\circ}$ C beträgt.

Die kräftigste Insolation kann nur bei möglichst senkrechter Einstrahlung und möglichst geringem Austausch zu hohen Übertemperaturen führen, also in Blättern, welche einerseits einen günstigen Einstrahlungswinkel, andererseits noch die Eigenschaft aufweisen, den untersten Luftschichten anzugehören. Jede Abnahme des Einstrahlungswinkels und jede Zunahme des Austausches begünstigen die Angleichung der pflanzlichen Körpertemperatur an die Temperatur der pflanzennahen Luftschicht.

Der Wärmeaustausch, die Transpirationskälte, sowie ein kleiner Einstrahlungswinkel wirken der Einstrahlung entgegen und führen besonders bei geringer Insolationsstärke zum Auftreten von Untertemperaturen in den pflanzlichen Organen. In den meisten Fällen vermag zwar eine kräftige Insolation solche Untertemperaturen zu verhindern. Es konnte aber auch wiederholt festgestellt werden, daß in den Stengeln durch Zusammenwirken obengenannter Faktoren selbst bei kräftiger Insolation Untertemperaturen auftreten. Jedoch waren sie stets nur von geringem Ausmaße. Ebenso erreichten alle übrigen Untertemperaturen, welche an bewölkten Tagen mit schwacher Insolation, im Schatten und nach Sonnenuntergang auftraten, nie besonders hohe Werte. Im allgemeinen bewegen sich die Untertemperaturen zwischen 0° C und 3° C und haben somit einen etwas höheren Schwankungsbereich als diejenigen von FRITZSCHE und MICHAELIS (0° C bis 2° C).

III. Einiges über den Temperaturgang in Stengel, Blatt und Blüte.

Zur Betrachtung des Temperaturverlaufs in diesen drei verschiedenen Pflanzenorganen sollen die an *Allium montanum*, *Centaurea scabiosa*, *Chrysanthemum leucanthemum* und *Hieracium bupleuroides* ausgeführten Messungen dienen. Die charakteristischen Verhältnisse von Stengel, Blatt und Blüte gibt uns der in Abb. 34 dargestellte und aus der Reihe der Messungen als Beispiel ausgewählte Tagesgang von *Hieracium bupleuroides* wieder. Bereits in den frühen Morgenstunden können wir in der Blüte höhere Temperaturen feststellen als im Stengel. Diese Übertemperatur in der Blüte hält den ganzen Tag über an und wird höchstens von einigen kleineren Schwankungen gestört. Im allgemeinen ist aber die Blüte stets höher temperiert als der Stengel. Ein anderes Verhältnis herrscht zwischen Blüten- und Blatt-Temperatur. Die Temperatur des Blattes ist morgens noch niedriger als die Temperatur von Stengel und Blüte. Erst mit zunehmender Insolation (vgl. Kurve

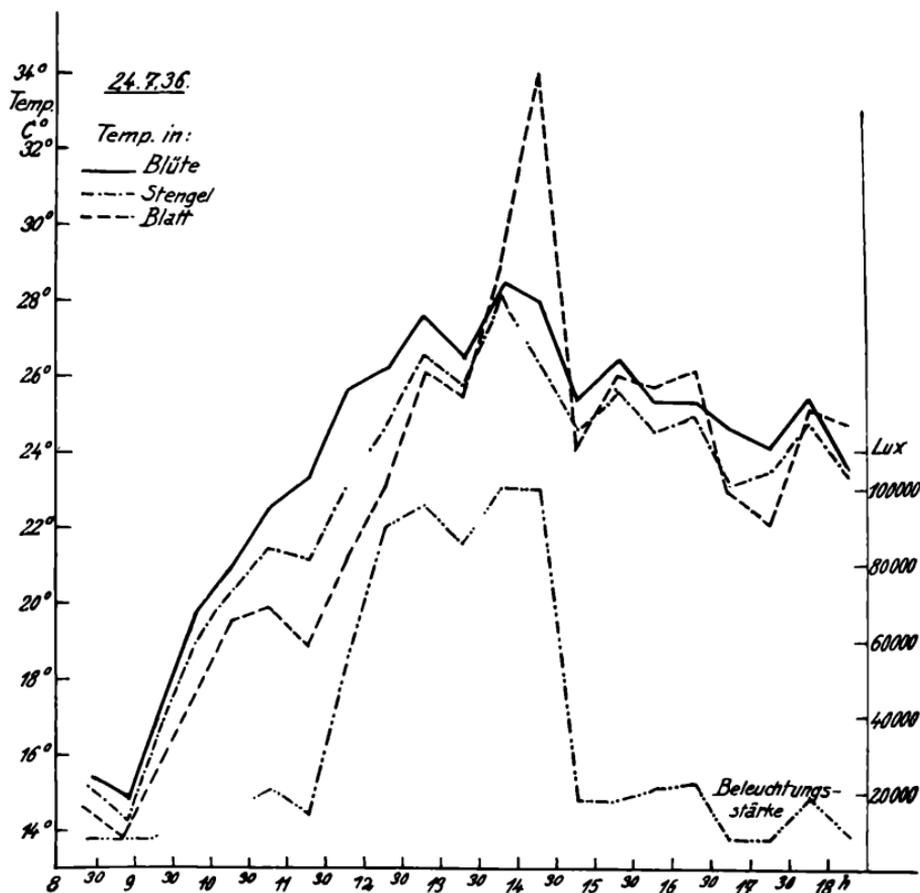


Abb. 34. Der Tagesverlauf der Temperatur in Stengel, Blatt und Blüte von *Hieracium bupleuroides*.

der Beleuchtungsstärke in Abb. 34) erfolgt eine Angleichung der Blatt-Temperatur an die Temperatur dieser Organe und bei kräftiger Inso-lation erwärmt sich das Blatt bedeutend rascher und höher als Stengel und Blüte. Sobald aber die direkte Bestrahlung aufhört (s. Abb. 34, 14³⁰ Uhr), geht die Temperatur im Blatt rasch zurück, das *Hieracium*-Blatt ist dann im Vergleich mit Stengel und Blüte wieder niedriger temperiert.

Wie bereits erwähnt, weicht die Temperatur im Stengel nur wenig von der Temperatur der umliegenden Luftschicht ab. Infolge der all-gemein höheren Temperaturen der Blüten müssen dieselben gegenüber ihren umliegenden Luftschichten auch höhere Werte der Übertempera-turen aufweisen. Dies bestätigen uns die in Tabelle 12 verzeichneten Maximalwerte der Übertemperatur von Stengel und Blüte gegenüber der Luft ihrer Umgebung. Weit wesentlichler ist es jedoch, die Größe der Temperaturdifferenz zwischen Blüte und Stengel kennen zu lernen. Die

höchste beobachtete Übertemperatur der Blüte gegenüber dem Stengel betrug $4,6^{\circ}$ C und wurde bei *Centaurea scabiosa* beobachtet. Daß aber auch die bei den anderen Versuchspflanzen beobachtete Erwärmung der Blüte über den Stengel nicht unbedeutend ist, zeigen die in Tabelle 12 angeführten Maximalwerte.

Einen größeren Anteil an der Bildung dieser Temperaturdifferenz zwischen Blüte und Stengel besitzt der ungünstige Einstrahlungswinkel des Stengels. Außerdem dürfte der im Vergleich zum Stengel bedeutend kompaktere Bau des Blütenbodens, in welchen der Einstich erfolgte, sowie die Atmungswärme (vgl. HUBER, 1935, S. 89) zur stärkeren Erwärmung der Blüte und damit zur Erhöhung der Temperaturdifferenz zwischen Blüte und Stengel beitragen.

Tabelle 12. Die Maximalwerte der Übertemperatur von Blüte und Stengel gegenüber der Luft, sowie die höchsten beobachteten Übertemperaturen der Blüte gegenüber dem Stengel.

Pflanze	Datum	Maximale Übertemperatur des Stengels gegenüber der Luft	Maximale Übertemperatur der Blüte gegenüber der Luft	Maximale Übertemperatur der Blüte gegenüber dem Stengel
<i>Allium montanum</i> (Blüte geschlossen)	8. 7. 36	0,6 ^o	1,0	3,4
<i>Allium montanum</i> (Blüte geöffnet)	7. 8. 36	2,0	2,8	3,3
<i>Centaurea scabiosa</i>	7. 8. 36	3,0	4,8	4,6
<i>Chrysanthemum leucanthemum</i> (Blüte frisch)	17. 7. 36	3,9	4,3	3,4
<i>Chrysanthemum leucanthemum</i> (Blüte alt)	17. 7. 36	1,7	4,7	4,4
<i>Hieracium bupleuroides</i>	24. 7. 36	1,5	2,1	2,5

C. Spezielle Untersuchungen über den Wärmehaushalt von *Saxifraga aizoon*.

I. Die Bedeutung der Blatteinrollung für den Wärmehaushalt von *Saxifraga aizoon*.

Die Einrollung der Blätter von *Saxifraga aizoon* zum Rosettenmittelpunkt, mit welcher wir uns bereits in den mikroklimatischen und Transpirationsuntersuchungen beschäftigten, wurde maßgebend für die folgenden pflanzlichen Temperaturmessungen. Da diese Erscheinung nur in den Sommermonaten beobachtet werden konnte, lag die Vermutung nahe, daß die Stärke der Insolation, sowie die dadurch bedingte Temperatur im pflanzlichen Organismus eine wesentliche Rolle als auslösende Faktoren im Blatteinrollungsprozeß spielen. Zur Klärung dieser Frage

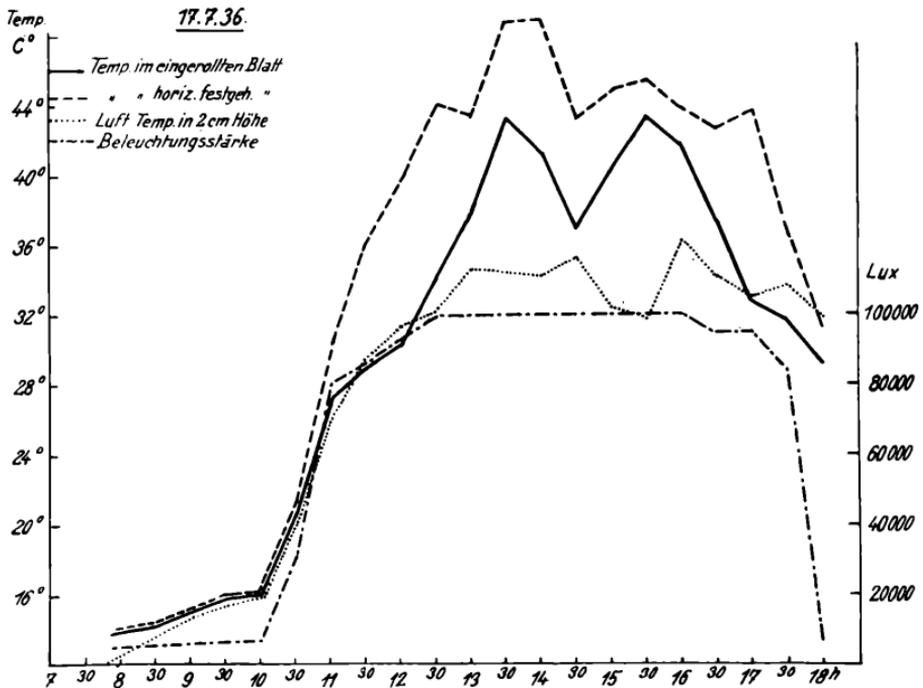


Abb. 35. Der tägliche Temperaturverlauf in einem eingerollten und einem horizontal festgehaltenen Blatt von *Saxifraga aizoon*.

wurde der Erwärmungsgang in einem horizontal auf der Bodenoberfläche festgehaltenen Blatt von *Saxifraga aizoon* untersucht und gleichzeitig mit dem Temperaturverlauf in einem eingerollten Blatt verglichen. Dadurch konnte auch der Forderung HUBERS (1935, S. 43) Folge geleistet werden, welcher es für notwendig erachtet, „Parallelmessungen mit zwangsweise in andere Lage gebrachten Organen am natürlichen Standort“ anzustellen.

Der Tagesverlauf der Temperatur in diesen zwei verschieden exponierten Blättern (s. Abb. 35) zeigt, daß das horizontal festgehaltene Blatt stets höhere Temperaturen aufweist, als das eingekrümmte Blatt. Dieser Temperaturunterschied vergrößert sich mit zunehmender Beleuchtungsstärke und ist meistens von beachtenswerter Größe. Dies bestätigen uns die Maximalwerte verschiedener Tage in Tabelle 13. Die höchste überhaupt gemessene Temperaturerhöhung des horizontalen Blattes gegenüber dem eingerollten beträgt $10,9^{\circ}$ C. Das Abheben der Rosettenblätter von *Saxifraga aizoon* von der Bodenoberfläche führt zunächst zu einer Abschwächung der Insolationswirkung durch Verkleinerung des Einfallwinkels der Sonnenstrahlen und weiterhin noch zu einer Erhöhung des Austausches. Auf Grund von Transpirationsuntersuchungen stellte FILZER (1933) fest, daß ein senkrechttes Blatt dem Austausch leichter zugänglich ist, als ein horizontales Blatt, und nach HUBER (1935, S. 63) gilt dies auch für den Wärmeaustausch. Eine weitere Steigerung erfährt

der Austausch noch durch die, infolge des Einkrümmens der Blätter auftretende Lockerung des festen Zusammenschlusses der Rosettenblätter und der damit verbundenen Erhöhung der wirksamen Oberfläche. Die Verringerung des Einstrahlungswinkels und die Vergrößerung des Austausches durch die Blatteinrollung sind für den sommerlichen Wärmehaushalt von *Saxifraga aizoon* von größter Bedeutung, führt dies doch, verglichen mit dem horizontal festgehaltenen Blatt zu einer bedeutenden Herabsetzung der Insolationstemperatur und zu einer wesentlichen Milderung der Unterschiede zwischen Blatt- und Lufttemperatur. Das geht aus den in Tabelle 13 noch angeführten höchsten Übertemperaturen des horizontalen und eingerollten Blattes von *Saxifraga aizoon* gegenüber der Luft hervor. In diesen Werten kommt eindeutig zum Ausdruck, wie die Temperatur des eingekrümmten Blattes wesentlich weniger von der Temperatur der pflanzennahen Luftschicht abweicht, als die Temperatur des am Boden zwangsweise festgehaltenen horizontalen Blattes.

Tabelle 13. Die Maximalwerte der Übertemperatur des horizontal festgehaltenen gegenüber dem eingerollten Blatt von *Saxifraga aizoon* und die maximalen Übertemperaturen dieser beiden Blätter im Vergleich zur Luft an einigen Versuchstagen.

Datum	Blatt-Temperatur von <i>Saxifraga aizoon</i> (eingerollt)	Blatt-Temperatur von <i>Saxifraga aizoon</i> (horizontal festgehalten)	Maximale Übertemperatur des horizontalen gegenüber dem eingerollten Blatt von <i>Saxifraga aizoon</i>	Maximale Übertemperatur des eingerollten Blattes gegenüber der Luft	Maximale Übertemperatur des horizontalen Blattes gegenüber der Luft
19. 6. 36	31,5 ^o	40,9	9,4	4,9	10,8
21. 6. 36	35,4	45,8	10,4 ^o	6,2	9,8
8. 7. 36	23,6	27,7	4,1	5,4	8,7 ^o
17. 8. 36	32,7	43,6	10,9	11,5	14,7
24. 7. 36	27,2	33,9	6,7	5,9 ^o	7,1 ^o
7. 8. 36	29,1	36,3	7,2	5,5 ^o	11,5 ^o
17. 8. 36	29,4	39,3	9,9	6,4 ^o	12,3
18. 8. 36	31,2	41,0 ^o	9,8 ^o	7,5 ^o	14,8

Wird die Einrollung zwangsweise verhindert, so erfolgt bei kräftiger Insolation rasch eine Abnahme der Turgeszenz und zuletzt eine vollkommene Tötung des Blattes. Deshalb wurde es notwendig, während der Messungen am horizontal festgehaltenen Blatt öfters, in den extremsten Fällen sogar bei jeder Einzelmessung, ein frisches Blatt zu benutzen, um eine Verschiedenheit der Turgeszenz im horizontalen und eingerollten Blatt nach Möglichkeit auszuschalten. Auf diese annähernde Gleichheit mußte geachtet werden, weil sonst die allgemeine Überhitzung des horizontalen gegenüber dem eingerollten Blatt durch den Temperaturanstieg beim Welken vergrößert und die Genauigkeit

der Werte dadurch bedeutend verschlechtert würde. Denn als Maximalwert konnte in einem gelben, unter Wassermangel leidenden Blatt von *Saxifraga aizoon* eine Übertemperatur von $8,2^{\circ}$ C gegenüber einem grünen und frischen Blatt beobachtet werden. Die Erscheinung, daß eine Verhinderung der Einrollung der Rosettenblätter bei intensiver Einstrahlung zum Tode der Pflanze führt oder sein Auftreten beschleunigt, ist keine spezielle Eigenschaft von *Saxifraga aizoon*. So konnte schon STAHL (zitiert nach HUBER, 1935, S. 130) die Rosetten von *Sempervivum*-Arten zum Absterben bringen, wenn er durch Verdunkelung dieselben zur Ausbreitung der Blätter veranlaßte und dann der Sonne aussetzte. Dieselben Faktoren, welche im horizontal festgehaltenen Blatt von *Saxifraga aizoon* die tödliche Überhitzung bewirken, führten nach erfolgter Ausbreitung auch das Absterben dieser *Sempervivum*-Rosetten herbei, nämlich die nahezu senkrechte Einstrahlung, die infolge unmittelbarer Bodennähe bedeutend wirksamere Rückstrahlung und der an der Bodenoberfläche außerordentlich geringe Austausch.

Durch die Einrollung entzieht *Saxifraga aizoon* ihre Blätter der hitzgefährdetsten Zone, der Bodenoberfläche, erniedrigt dadurch die Insolationstemperatur und verhindert so ein Auftreten tödlicher Temperaturwerte. In manchen Fällen, besonders zur Zeit starker Einstrahlung und starker Rückstrahlung des Bodens vermag auch dieses Schutzmittel einer tödlichen Erwärmung der Pflanzenorgane nicht mehr entgegenzuwirken, sondern wirkt nur verzögernd auf das Erscheinen der bekannten Verbrennungen an *Saxifraga aizoon*. Aber trotzdem sehen wir in der Blatteinrollung das beste Schutzmittel, welches *Saxifraga aizoon* besitzt, um sich vor tödlicher Überhitzung zu schützen.

Von der Blatteinrollung ist weiterhin noch eine für *Saxifraga aizoon* äußerst lebenswichtige Erscheinung abhängig. Die eingekrümmten Blätter bilden ein schützendes Dach über dem Rosettenmittelpunkt und verhindern seine direkte Bestrahlung. Dies ist von großer Bedeutung für den Wärmehaushalt der im Rosettenmittelpunkt sich befindlichen jungen Blättchen von *Saxifraga aizoon*. Durch die eingerollten älteren Rosettenblätter werden diese Blättchen vor einer starken Erwärmung durch die Insolation geschützt. Deshalb bleibt ein junges Rosettenblatt in seinem täglichen Temperaturgang an den Tagen mit kräftiger Insolation weit hinter den Temperaturen des eingerollten Blattes zurück (s. Abb. 36). Die niedrigsten Insolationstemperaturen weisen an einer eingerollten Rosette von *Saxifraga aizoon* stets die jungen Blättchen im Rosettenmittelpunkt auf. Kurz nach dem Sonnenuntergang, wenn die Wirkung der Insolation aufhört, ändert sich dieses Temperaturverhältnis. Die jungen Blättchen sind nun höher temperiert als die eingerollten Rosettenblätter (s. Abb. 36). Das schützende Dach der eingerollten Blätter wirkt somit einer schnellen Abkühlung der jungen Rosettenblättchen entgegen. Die eingerollte *Saxifraga*-Rosette schützt einerseits die jungen Blätter bei kräftiger Insolation, besonders während den Nachmittagsstunden, gegen zu hohe

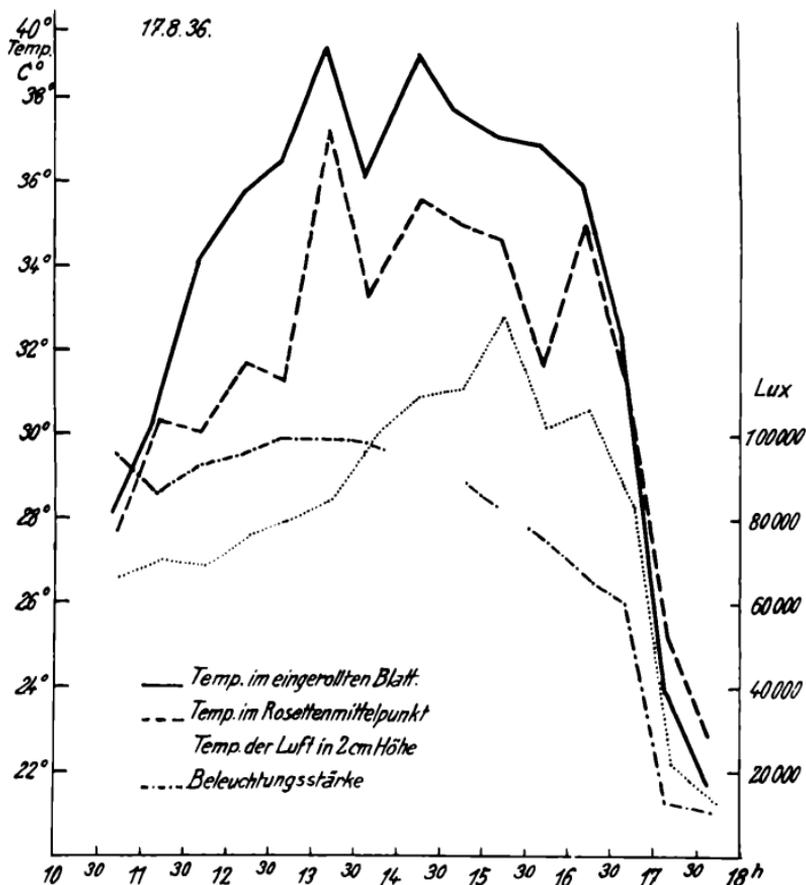


Abb. 36. Der tägliche Temperaturverlauf in einem eingerollten Blatt und einem jungen Blättchen des Rosettenmittelpunktes von *Saxifraga aizoon*.

Temperaturen, andererseits verhindert sie, nach Aufhören der Insolation, ein zu tiefes Absinken der Temperaturen in diesen Blättchen.

Durch die Blatteinrollung vermögen die Rosetten von *Saxifraga aizoon* sich in doppelter Hinsicht gegen die hohen Insolationstemperaturen zu schützen. Zunächst schützt das Einkrümmen die äußeren Rosettenblätter gegen die durch starke Insolationstemperaturen bedingten Hitzeschäden. Dann werden diese eingekrümmten äußeren Rosettenblätter selbst zu Schutzorganen für den jungen Blattnachwuchs im Rosettenmittelpunkt von *Saxifraga aizoon*.

II. Die Standortverhältnisse und ihre Beziehungen zum Wärmehaushalt von *Saxifraga aizoon*.

Die Tatsache, daß die *Saxifraga*-Rosetten in offenen Pflanzengesellschaften am häufigsten von Hitzeschäden betroffen werden, macht einen bestimmenden Einfluß des Standortes auf den Wärmehaushalt wahr-

scheinlich. In diesen Gesellschaften erwärmt die Insolation nicht nur die Pflanzenorgane, sondern in ganz besonderem Maße auch die freie Bodenoberfläche in unmittelbarer Nähe der Pflanze. Es kommt in den Sommermonaten häufig zu einer Erwärmung der nackten Bodenoberfläche über 50° C und öfters sogar über 60° C. Da der Boden die aufgenommene Wärmemenge zum Teil wieder an die bodennächsten Luftschichten abgibt, werden auch die bodennahen Pflanzenorgane der temperaturerhöhenden Wirkung dieser Rückstrahlung ausgesetzt. Die Überhitzungsgefahr der Rosetten von *Saxifraga aizoon* bei kräftiger Insolation wird, bei vereinzelt Vorkommen in offenen Pflanzengesellschaften, durch die Rückstrahlung bedeutend vergrößert und das Auftreten von Hitzeschäden entsprechend beschleunigt. Zur Verminderung dieser Rückstrahlung, mit ihren nachteiligen Folgen für den Wärmehaushalt, siedelt sich *Saxifraga aizoon* weniger an Stellen mit offener Vegetation, sondern hauptsächlich an Stellen mit dickem Moospolster oder auch auf Felsen an. Im Schutzgebiet finden wir die üppigsten *Saxifraga*-Bestände stets in Gesellschaft mit *Rhytidium rugosum*. Die dicke Mooschicht wirkt einer starken Erwärmung und damit einer intensiven Rückstrahlung des Bodens entgegen.

Auch die Temperaturverhältnisse im Fels wirken sich auf den Wärmehaushalt von *Saxifraga aizoon* noch günstiger aus, als diejenigen der nackten Bodenoberfläche. Dies beweisen uns die gleichzeitigen Untersuchungen des Temperaturverlaufes in den annähernd gleich exponierten Blättern zweier aneinandergrenzender Blattrosetten von *Saxifraga aizoon*, von denen eine auf nacktem Boden, die andere auf der Felsoberfläche wächst. In Abb. 37 ist der tägliche Temperaturgang des horizontal auf dem Boden und des horizontal auf dem Fels festgehaltenen Blattes dargestellt. Diese Tageskurven zeigen deutlich die höhere Temperierung des horizontal dem Boden aufliegenden Blattes. Auch in den maximalen Blatt-Temperaturwerten vom 8. Juli 1936 kommt dies zum Ausdruck, denn die höchste beobachtete Blatt-Temperatur im horizontal auf dem Boden festgehaltenen Blatte betrug $33,6^{\circ}$ C, im horizontal auf dem Fels festgehaltenen Blatte dagegen nur $30,9^{\circ}$ C. Eine allerdings etwas geschwächte Wiederholung dieser unterschiedlichen Temperierung finden wir auch beim Vergleich des Temperaturganges der eingerollten Blätter. Am 8. Juli 1936 betrug z. B. die maximale Temperatur im eingekrümmten Blatt der bodenbewohnenden Rosette $30,3$ C und im entsprechenden Blatt der felsbewohnenden Rosette $28,5$ C. Die höhere Temperierung der Blätter einer Rosette über nacktem Boden ist in der Hauptsache die Folgeerscheinung der — infolge höherer Erwärmung — stärkeren Rückstrahlung der dunklen Bodenoberfläche im Vergleich mit der Felsoberfläche.

Eine grundlegende Änderung erfährt dieses Temperaturverhältnis gleich nach Sonnenuntergang. Nach Aufhören der Insolation kühlt sich die dunkle Bodenoberfläche infolge Ausstrahlung rasch ab, während im Fels die wärmespeichernde Wirkung zum Vorschein kommt. Die Bodenoberfläche ist jetzt kühler als die Felsoberfläche. Dies wirkt sich wieder

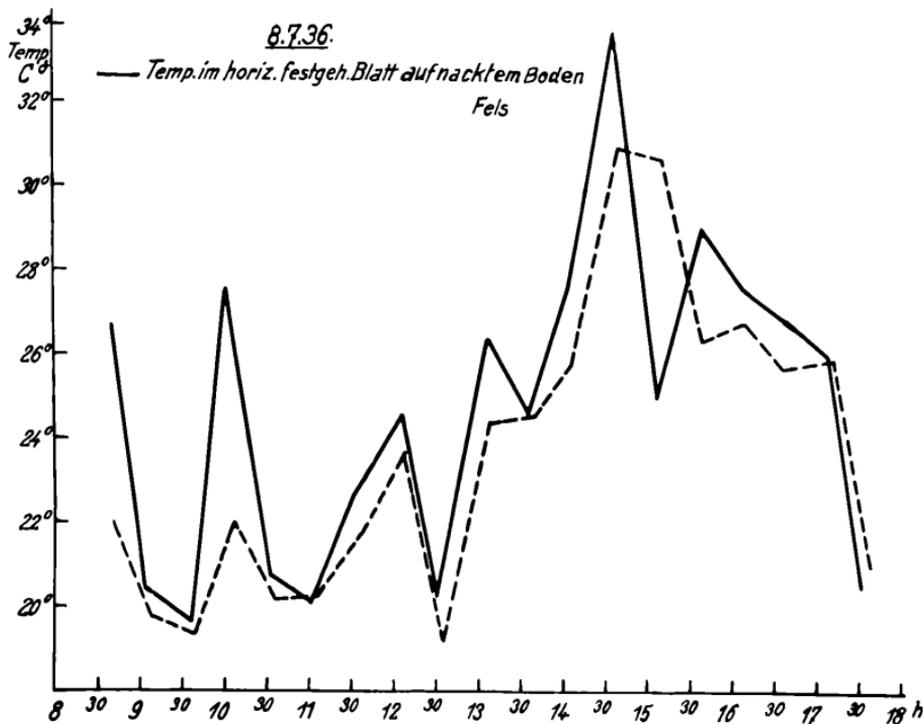


Abb. 37. Tagesgang der Temperatur in den horizontal festgehaltenen Blättern einer auf nacktem Boden bzw. auf Fels wachsenden *Saxifraga*-Rosette.

auf den Wärmehaushalt der bodennahen Rosettenblätter von *Saxifraga aizoon* aus. Kurz nach Sonnenuntergang zeigen die Blätter der felsbewohnenden *Saxifraga*-Rosette in eingerollter Stellung und in gezwungener Horizontallage (s. Abb. 37) bereits geringe Übertemperaturen gegenüber den entsprechenden Blättern der den Boden besiedelnden Rosette. Der Wärmeaustausch im Untergrund vermag somit bestimmend in den Wärmehaushalt der Pflanze einzugreifen.

III. Der tägliche Temperaturverlauf in verschiedenen exponierten Blättern einer *Saxifraga*-Rosette.

In die Reihe der thermoelektrischen Temperaturmessungen in den verschiedenen Pflanzenorganen wurden noch die Untersuchungen über den Temperaturgang in verschiedenen exponierten Blättern einer *Saxifraga*-Rosette einbezogen. Sie geben uns einen Einblick in die unterschiedliche Erwärmung der Blätter in Abhängigkeit von der Exposition. Zwischen den gleichzeitig und halbstündlich festgestellten Insolationstemperaturen in einem nach Süden, Norden, Osten und Westen gerichteten Rosettenblatt treten stets charakteristische Unterschiede in Erscheinung. Betrachten wir die prozentuale Verteilung der tiefsten und höchsten, halbstündlich beobachteten Temperaturwerte (s. Tabelle 14), so fällt uns

allgemein der große bzw. kleine Anteil des westlich orientierten Blattes an den tiefsten bzw. höchsten Temperaturwerten auf. Im täglichen Insulationsgang weist von den vier Versuchsblättern das nach Westen gerichtete Blatt am häufigsten die geringste Temperierung auf. Diese Häufigkeit ist besonders am Vormittag ausgeprägt. In den Nachmittagsstunden nimmt der hohe prozentuale Anteil des westlichen Blattes an den tiefsten Temperaturen ab, dafür steigt dieser im östlich gerichteten Blatt an.

Tabelle 14. Prozentuale Verteilung der höchsten und tiefsten Temperaturwerte in verschieden exponierten Rosettenblättern von *Saxifraga aizoon*.

Datum und Tageszeit	Prozentualer Anteil an dem halbstündlich beobachteten höchsten Temperaturwert				Prozentualer Anteil an dem halbstündlich beobachteten tiefsten Temperaturwert			
	Blattexposition				Blattexposition			
	S	N	O	W	S	N	O	W
19. 6. 36 ganzen Tag	35%	10%	50%	5%	25%	30%	0%	45%
19. 6. 36 vormittags	25%	12%	63%	0%	25%	37%	0%	38%
19. 6. 36 nachmittags	42%	8%	42%	8%	25%	25%	0%	50%
8. 7. 36 ganzen Tag	39%	17%	27%	17%	5%	22%	17%	56%
8. 7. 36 vormittags	14%	14%	72%	0%	0%	14%	0%	86%
8. 7. 36 nachmittags	55%	18%	0%	27%	9%	27%	27%	37%
17. 7. 36 ganzen Tag	24%	33%	14%	29%	19%	0%	38%	43%
17. 7. 36 vormittags	34%	33%	22%	11%	22%	0%	22%	56%
17. 7. 36 nachmittags	17%	33%	8%	42%	17%	0%	50%	33%

Die prozentuale Häufigkeit der höchsten beobachteten Temperaturwerte ist nicht so eindeutig an eine Blattexposition gebunden, wie diejenige der tiefsten Temperaturwerte. Die Mehrzahl der höchsten Temperatureinzelwerte tritt im Tagesverlauf vielfach im südlich gerichteten Blatt von *Saxifraga aizoon* auf, kann jedoch ebenfalls im nördlichen Blatt vorkommen. Bezeichnend ist die Tatsache, daß der größte Prozent-

satz der höchsten Temperaturwerte vormittags im O-Blatt am häufigsten ist, während er nachmittags zwar meistens im S-Blatt auftritt, aber auch im W-Blatt vorkommen kann. Hierdurch kommt das tägliche Wandern der stärksten Insolationstemperatur von Osten nach Westen zum Ausdruck.

Diese Untersuchungen lassen deutlich eine Bevorzugung der SN-Richtung in der Erwärmung erkennen. Die Rosettenblätter, welche am wenigsten von dieser Richtung abweichen, stehen im stärksten Wärmegenuß. So konnten die maximalen Tagestemperaturen meistens im S- oder N-Blatt beobachtet werden. Am 19. Juni 1936 betrug z. B. der Temperaturhöchstwert im S-Blatt 37,6° C, im N-Blatt 37,9° C, im O-Blatt 37,0° C und im W-Blatt 34,9° C. Im Gegensatz dazu sind die Rosettenblätter der OW-Richtung, abgesehen von den Vormittags- bzw. Spätnachmittagswerten, durchschnittlich einer geringeren Erwärmung durch die Insolation ausgesetzt.

Abschnitt V.¹

Allgemeiner Teil.

Die Station 3 stellt während der Sommermonate die Kampfzone von *Saxifraga aizoon* mit dem Mikroklima dar. Es wird dort gerade noch das äußerste Klima erfaßt, unter dem diese Pflanze zu leben vermag. Während das winterliche, vorsommerliche und auch nächtliche Klima die Lebensfähigkeit von *Saxifraga aizoon* an Station 3 nicht beeinträchtigt, trat durch die Verbrennungserscheinungen im Sommer 1934/35 eine deutliche Abnahme des *Saxifraga*-Bestandes an dieser Station ein.

Diese alpine Reliktpflanze, welche noch in großen Beständen im Donautal zu finden ist, wird durch solche extreme Mikroklimata an Standorte mit höherer Luftfeuchtigkeit und niedrigeren Temperaturen zurückgedrängt, dabei gerät sie jedoch in die Region mit starkem Baum- und Strauchwuchs. Wohl findet sie hier günstige Verhältnisse in bezug auf Feuchtigkeit, Temperatur und Verdunstung, hat aber gegen mangelndes Licht und vor allem um Raum zu kämpfen. *Saxifraga aizoon* sucht sich nun solche Standorte aus, welche ihr diese Faktoren am günstigsten darbieten. Standorte, einerseits mit niederen Luft- und Bodentemperaturen, niederer Verdunstung und daher höherer Luftfeuchtigkeit, andererseits mit genügend Licht und Raum zur Entwicklung. Solch einen Standort finden wir an Station 1, wo sich diese Pflanze auch sehr reichlich entfaltet. Ein ähnliches Verhalten in der Bevorzugung solcher mikroklimatischer Standorte zeigt das mit *Saxifraga aizoon* stets gesellig auftretende Felsenhungerblümchen, *Draba aizoides*, sowie die alpinen *Hieracium*-Arten.

Die Wärmehaushaltsuntersuchungen an *Saxifraga aizoon* bestätigen ebenfalls die oben aufgestellte Behauptung, daß der Standort an Station 3 für diese Pflanze eine Kampfzone darstellt. Sie zeigen, daß trotz Aufbietung aller verfügbarer Schutzmittel, an extremen Sommertagen Insolationstemperaturen auftreten, die in unmittelbarer Nähe des

Tötungspunktes dieser Pflanze liegen und zu beträchtlichen Schädigungen führen.

Ist *Saxifraga aizoon* an Station 3 einer günstigen Wasserbilanz unterworfen, so ist sie in der Lage, durch ihre verhältnismäßig hohe Transpiration (vgl. Abschnitt III) einer lebensgefährlichen Erwärmung ihrer Organe entgegenzutreten. Tritt jedoch zu der starken Insolation noch eine Herabsetzung des Bodenwassergehalts und damit eine Verschlechterung der Wasserbilanz der Pflanze, so schränkt *Saxifraga aizoon* zum Ausgleich die Transpiration ein. Dies geschieht zunächst durch Stomataverschluß. Ist noch stärkere Einschränkung notwendig, so rollen sich die Blätter zum Rosettenmittelpunkt ein. Diese Einrollung der Blätter ist wohl eine Einrichtung zur Einschränkung der Transpiration. Eine größere Bedeutung kommt ihr jedoch als Wärmeschutzeinrichtung zu. Durch die Einrollung wird:

1. das Blatt in einen anderen Einstrahlungswinkel gebracht und dadurch die Wirkung der Insolation abgeschwächt;
2. die Wirksamkeit der Rosettenoberfläche und dadurch der Austausch vergrößert;
3. jedes Blatt aus der Zone der starken Erwärmung, der Bodenoberfläche, etwas herausgehoben und dadurch ebenfalls einem erhöhten Austausch zugänglich gemacht, da Windstärke und Austausch mit zunehmender Bodennähe abnehmen und ein senkrechtes Blatt dem Austausch leichter zugänglich ist als ein horizontales;
4. die temperaturerhöhende Wirkung der Rückstrahlung bedeutend vermindert.

Da die Einrollung der Rosettenblätter, die wir als hauptsächlichsten Faktor kennengelernt haben, den *Saxifraga aizoon* zum Schutze gegen zu starke Erhitzung aufweist, gleichzeitig auch zur Einschränkung der Transpiration dient, wird die Ansicht von HUBER (1935, S. 131) bestätigt, daß auf trockenen Standorten alle Wärmeschutzeinrichtungen auch mittelbar Einrichtungen des Transpirationsschutzes sind.

Ein letztes Schutzmittel, welches *Saxifraga aizoon* einer weiteren Erwärmung entgegenzustellen hat, ist das bei den Sukkulenten verbreitete Erbleichen der Blätter (vgl. HUBER, 1935, S. 52), welches durch die Profilstellung der Chromatophoren bewirkt wird. Aber auch dieses Schutzmittel vermag in vielen Fällen die Verbrennungserscheinungen nicht mehr zu verhindern, welche in den Sommermonaten, begünstigt durch eine starke Abnahme der Turgeszenz, an den Blättern von *Saxifraga aizoon* auftreten. Die Hitzeschäden beginnen zunächst an den äußeren Rosettenblättern, erfassen allmählich auch die inneren Blätter und können schließlich zur Vernichtung der ganzen Rosetten führen. Eine Überschreitung der Hitzeresistenz und damit ein Auftreten von Verbrennungserscheinungen ist jedoch nur möglich, wenn zu der kräftigen Insolation noch ein durch starke Austrocknung des Bodens bedingtes Defizit im Wasserhaushalt der Pflanze tritt.

Saxifraga aizoon ist, wie aus ihrem Vorkommen hervorgeht, die anpassungsfähigste alpine Reliktpflanze. Das Fehlen der anderen alpinen Pflanzen an mikroklimatisch extremen Standorten, wie z. B. an Station 3, läßt darauf schließen, daß dieselben noch einer stärkeren Gefährdung ausgesetzt sind.

Abschnitt VI.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

A. Mikroklima.

1. Zur Untersuchung der mikroklimatischen Verhältnisse der Alpen- und Wärmepflanzen wurden im Schutzgebiet Stiegelefelds drei Stationen ausgesucht, von denen zwei (Station 1 und 3) alpine Vegetation und eine (Station 2) typischen Steppenheidecharakter besitzen. Es zeigt sich, daß die Alpenpflanzen an wesentlich tiefere Temperaturen und einen höheren Feuchtigkeitsgehalt der Luft gebunden sind als die Wärmepflanzen. An Station 3 konnte festgestellt werden, daß die hohen Temperaturen des Sommers äußerst schädlich auf *Saxifraga aizoon* einwirken. Bereits bei Bodentemperaturen über 35 C unmittelbar unter den Rosettenblättern und 25 C in 10 cm Tiefe treten an den Blättern starke Verbrennungerscheinungen auf. Als höchste Erwärmung unter den Blättern von *Saxifraga aizoon* wurde der Temperaturwert von 44,7 C festgestellt. Die höchsten Temperaturen wurden in der nackten Bodenoberfläche beobachtet. Diese erwärmt sich in den Sommermonaten häufig über 50 C und öfter sogar über 60 C. Als absolutes Maximum konnte in der Bodenoberfläche eine Erhitzung von 65,0 C gemessen werden.

2. Die nächtliche Inversion im Donautal und die häufig auftretenden Fröste bewirken eine charakteristische Verteilung der Alpen- und Wärmepflanzen in ihrem Hauptvorkommen. Die Wärmepflanzen bevorzugen die warme Hangzone. Sie finden hier wärmere Nachttemperaturen und vor allem Schutz vor Frost. Die gegen Kälte weniger empfindlichen Alpenpflanzen bevorzugen die unteren Talhänge, den Kältesee, wo ihnen die tiefen Nachttemperaturen eine Erholung von den hohen sommerlichen Tagestemperaturen ermöglichen. Weiterhin siedeln sich die Wärmepflanzen in der warmen Hangzone vorwiegend am Felsen an, wodurch sie in den Genuß der nächtlichen Rückgabe der im Fels gespeicherten Tageswärme gelangen.

3. Die hohe Verdunstung beschleunigt zusammen mit den sommerlichen Temperaturen die Verbrennungerscheinungen von *Saxifraga aizoon* an Station 3. An dieser Station wurde in 1 m Höhe das Maximum der Verdunstung von 1,95 cc m/h gemessen. Eine bedeutende Steigerung der Verdunstungskraft wird durch den Wind bewirkt. Im vertikalen Gang der Evaporation konnte ein Windtypus und ein Insolationstypus beobachtet werden. Ersterer ist der weitaus häufigere und durch eine Zunahme der Evaporation mit der Höhe charakterisiert, während letzterer viel seltener und durch eine Abnahme der Evaporation mit der Höhe gekennzeichnet ist.

4. Der höhere Feuchtigkeitsgehalt der Luft an Station 1 gegenüber der Station 3 macht sich an *Saxifraga aizoon* bemerkbar. Die Blüte erfolgt später, die Entwicklung der oberirdischen Erneuerungsknospen dagegen früher wie an Station 3. Diese Entwicklungsgänge stehen auch in Abhängigkeit zur Intensität des Lichtes, welche an Station 1 wesentlich geringer ist, als an den beiden anderen Beobachtungsstationen.

B. Transpiration.

1. Die höchsten Transpirationswerte treten bei *Dianthus caesius* auf. Als maximale Minutentranspiration wurde bei dieser Wärmepflanze der beachtliche Wert von 48,61 mgr/gr Frischgewicht beobachtet. Dies entspricht einem Wärmeentzug von 0,43 cal/cm². min. Jedoch sind auch die Transpirationswerte einiger Alpenpflanzen noch als hoch anzusprechen. Es betrug z. B. die maximale Transpiration von *Draba aizoides* 20,98 mgr/gr. min und die entsprechende von *Saxifraga aizoon* 18,11 mgr/gr. min. Eine weit geringere Transpiration besitzt im Vergleich mit diesen Pflanzen das sukkulente *Sedum album*. Als höchste sommerliche Transpiration wurde bei ihr 9,34 mgr/gr. min gefunden. Die Transpirationmessungen geben uns ferner noch ein Bild von der Transpirationseinschränkung von *Saxifraga aizoon* bei hochsommerlicher Insolation durch Stomataverschluß in Verbindung mit Blatteinrollung.

2. Die Transpirationmessungen ergaben eine eindeutige Abhängigkeit der Streuung von der Transpirationsgröße. Die Streuung nimmt mit steigender Transpiration zu und beide Faktoren zeigen in den meisten Fällen ein gleichzeitiges Auftreten ihrer Maximalwerte.

C. Wärmehaushalt.

1. Die Temperatur im pflanzlichen Organismus sinkt bzw. erhöht sich mit abnehmender bzw. ansteigender Insolation. Merkbare Temperaturänderungen werden jedoch erst von Intensitätsschwankungen der Beleuchtungsstärke über 10 000 Lux verursacht. Im Gegensatz dazu vermögen bereits die geringsten Windstärken deutliche Temperaturabfälle in den Blättern hervorzurufen. Die höchste Temperaturerniedrigung durch den Wind betrug im Blatt von *Saxifraga aizoon* 4,0° C innerhalb einer Minute.

2. Die höchsten Pflanzentemperaturen wurden an der durch Sukkulenz und Rosettenwuchs ausgezeichneten alpinen *Saxifraga aizoon* festgestellt. Als Maximalwert wurde in einem horizontal festgehaltenen Blatt die Temperatur von 48,9° C gemessen. Durch kräftige Insolation und Wassermangel erreichen die Temperaturen dieser Pflanze in den Sommermonaten häufig den Maximalwert der Hitzeresistenz. Dies führt zu den stark verbreiteten sommerlichen Hitzeschäden und zu Verbrennungen ganzer Rosetten. Die Körpertemperaturen der Wärmepflanzen bewegen sich jedoch weit unterhalb der Tötungszone und werden selbst an den heißesten Sommertagen nie eine Verbrennungsgefahr hervorrufen.

3. Am schwächsten erwärmen sich diejenigen Pflanzenorgane über die Luft, welche der Insolation eine möglichst geringe Einstrahlungsfläche darbieten. Die höchsten Übertemperaturen konnten in solchen Organen beobachtet werden, welche eine fast senkrechte Einstrahlung ermöglichen und sich nicht, oder nur ganz gering von der Bodenoberfläche abheben. Der höchste beobachtete Wert der Temperaturdifferenz zwischen Blatt und umliegender Luftschicht betrug $14,8^{\circ}$ C und wurde im horizontal festgehaltenen Blatt von *Saxifraga aizoon* gemessen.

4. Das beste Schutzmittel, welches *Saxifraga aizoon* besitzt, um die Rosettenblätter der gefährlichen sommerlichen Erwärmung der Bodenoberfläche (öfters über 60° C) zu entziehen, ist die Einrollung der Blätter. Die eingekrümmten Blätter schützen, wie die Untersuchungen zeigen, wiederum den jungen Blattnachwuchs im Rosettenmittelpunkt vor zu hohen Insolationstemperaturen und vor Hitzeschäden. Besondere über den Temperaturverlauf in verschiedenen exponierten Blättern einer *Saxifraga*-Rosette angestellte Untersuchungen ergaben, daß die Blätter der SN-Richtung bevorzugt erwärmt werden und das nach Westen gerichtete Blatt am häufigsten die geringste Temperierung aufweist.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden im Botanischen Institut der Universität Tübingen auf Anregung von Herrn Professor Dr. E. LEHMANN und unter Leitung von Herrn Privatdozent Dr. P. FILZER ausgeführt, denen ich an dieser Stelle für die Förderung meiner Arbeit und die hilfreiche Unterstützung durch wertvolle Ratschläge herzlich danke. Außerdem danke ich meinem Freunde FRITZ GROSS (Tuttlingen) für seine Hilfe beim Transport und Aufbau der Meßgeräte.

T ü b i n g e n , Botanisches Institut, im November 1936.

Schriftenverzeichnis.

- BERTSCH, K., Die Alpenpflanzen im oberen Donautal. Allgem. Bot. Ztschr., 1913.
 — , Wärmepflanzen im oberen Donautal. Bot. Jahrb. v. ENGLER, Bd. 55, H. 4, 1919.
- BOSIAN, G., Assimilations- und Transpirationsbestimmungen an Pflanzen des Zentralkaiserstuhls. Ztschr. f. Bot., 1933, Bd. 26, S. 209.
- BRAUN-BLANQUET, J., Pflanzensoziologie. Berlin 1928.
- BUDIG, W., Beschirmung von Bodenthermometern gegen nächtliche Ausstrahlung. Veröffentl. d. Preuß. meteorol. Inst., Nr. 294, 1917.
- DORNO, C., Über die Verwendbarkeit von Eders Graukeilphotometer. Meteorol. Ztschr., H. 3, 1925.
- FILZER, P., Experimentelle Beiträge zur Synökologie der Pflanzen I. Jahrb. f. wissensch. Bot., 1933, Bd. 79, H. 1, S. 9.
 — , Untersuchungen über das Mikroklima in niederwüchsigen Pflanzengesellschaften. Beih. z. Bot. Ztrbl., Bd. 55, Abt. B, H. 1/2, 1936.
- FIRBAS, F., Studien über den Standortscharakter auf Sandstein und Basalt. Beih. z. Bot. Ztrbl., 1924, 40 II, 254.
 — , Die Wirkung des Windes auf die Transpiration. Ber. d. deutsch. Bot. Gesellsch., 1931, 49, 443.

- FIRBAS, F., Untersuchungen über den Wasserhaushalt der Hochmoorpflanzen. *Jahrb. f. wiss. Bot.*, 1931, 74, 459—696.
- FRITZSCHE, G., Untersuchungen über die Gewebetemperaturen von Strandpflanzen unter dem Einfluß der Insolation. *Beih. z. Bot. Ztrbl.*, 1933, Abt. I, Bd. 50, S. 251.
- GEIGER, R., Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig 1927.
- , Die vier Stufen der Klimatologie. *Meteorol. Ztschr.*, 1929, S. 7.
- , Über selbständige und unselbständige Mikroklimata. *Meteorol. Ztschr.*, 1929, 46, S. 539.
- , Gibt es eine Temperatur der bodennahen Luftschicht? *Bioklimat. Beiblätter*, H. 3, 1934.
- GEIGER, R., und BÜDEL, Über ein tragbares Meßgerät für Temperaturbestimmungen in der bodennahen Luftschicht. *Ztschr. f. angew. Meteorol.*, 1929, S. 265.
- GEIGER, R., und SCHMIDT, W., Einheitliche Bezeichnung in kleinklimatischer und mikroklimatischer Forschung. *Bioklim. Beiblätter*, H. 4, Braunschweig 1934.
- GRADMANN, R., Das Pflanzenleben der Schwäbischen Alb. Bd. I. Tübingen 1900. Dasselbe, Bd. I. Tübingen 1936.
- HARDER, R., Beobachtungen über die Temperatur der Assimilationsorgane sommergrüner Pflanzen in der algerischen Wüste. *Ztschr. f. Bot.*, 1930, 23, S. 703—744.
- HARDER, FILZER, LORENZ, Über Versuche zur Bestimmung der Kohlensäureassimilation immergrüner Wüstenpflanzen während der Trockenheit in Beni Unif. *Jahrb. f. wiss. Bot.*, 1931, 75, H. 1, S. 45.
- HARDER, FILZER, LORENZ, Notizen über Evaporation und Transpiration in der algerischen Wüste bei Beni Unif. *Flora*, 1933, N. F., 28, S. 34—49.
- HÄRTEL, O., Pflanzenökologische Untersuchungen an einem xerothermen Standort bei Wien. *Jahrb. f. wiss. Bot.*, 1936, 83, I, S. 1—59.
- HANN und SÜRRING, *Lehrbuch der Meteorologie*. 4. Aufl. Leipzig 1926.
- HEILIG, H., Untersuchungen über Klima, Boden und Pflanzenleben des Zentralkaiserstuhls. *Ztschr. f. Bot.*, 1931, 24, S. 225.
- HUBER, B., Der Wärmehaushalt der Pflanzen. *Naturwissensch. u. Landwirtsch.*, H. 17, München 1935.
- HUMMEL, Zum Mikroklima isolierter Standorte. *Deutsch. meteorol. Jahrb. v. Bayern*, 1929, Bd. 1.
- KRAUS, G., Boden und Klima auf kleinstem Raum. Versuch einer exakten Behandlung des Standortes auf dem Wellenkalk. Jena 1911.
- LEICK und PROPP, Bodentemperaturen und Pflanzenwuchs in ihren wechselseitigen Beziehungen auf der Insel Hiddensee. I. und II. Teil. Mitteilungen des naturw. Vereins f. Neuvorpommern und Rügen in Greifswald, 1930, Jahrg. 57.
- MICHAELIS, P., Ökologische Studien an der alpinen Baumgrenze. I, 1932. *Ber. d. dtsh. Bot. Ges.*, 50. Dasselbe II und III, *Beih. z. Bot. Ztrbl.*, 1934, 52 B.
- REBHOLOZ, E., Die Pflanzenwelt der Fridinger Alb mit Berücksichtigung ihres Schutzgebietes. *Veröffentl. d. staatl. Stelle f. Naturschutz b. württ. Landesamt f. Denkmalspflege*, 1926.
- RÜBEL, E., *Geobotanische Untersuchungsmethoden*. Berlin 1922..
- SAPPER, J., Versuche zur Hitzeresistenz der Pflanzen. *Planta*, 1935, 23, H. 4, S. 518—556.
- SCHADE, F. A., Pflanzenökologische Studien an den Felswänden der Sächsischen Schweiz. *Englers Bot. Jahrb.*, 1912, Bd. 48.

- SCHANDERL, H., Ökologische und physiologische Untersuchungen an der Wellen- und Muschelkalkflora des Maintals zwischen Würzburg und Garnbach. *Planta*, 1930, 10, 756.
- SCHRATZ und FRITZSCHE, Über die Bedeutung pflanzlicher Temperaturmessungen bei Transpirationsuntersuchungen am Standort. *Beih. z. Bot. Ztrbl.*, 1932, 49, Drudfestschrift, S. 438.
- STOCKER, O., Klimamessungen auf kleinstem Raum, in Wiesen-, Wald- und Heidepflanzen. *Ber. d. Dtsch. Bot. Ges.*, 1923, 41, S. 145.
- , Eine Feldmethode zur Bestimmung der momentanen Transpirations- und Evaporationsgröße. *Ber. d. Dtsch. Bot. Ges.*, 1929, 47, S. 126.
- , Transpiration und Wasserhaushalt in verschiedenen Klimazonen. I. Untersuchungen an der arktischen Baumgrenze in Schwedisch-Lappland. *Jahrb. f. wiss. Bot.*, 1931, 75, S. 494—549.
- VOLK, O. H., Beiträge zur Ökologie der Sandvegetation der Oberrheinischen Tiefebene. *Ztschr. f. Bot.*, 1931, Bd. 24, S. 81.
- WALTER, H., Einführung in die allgemeine Pflanzengeographie Deutschlands. Jena 1927.
- , Verdunstungsmessungen auf kleinstem Raume in verschiedenen Pflanzengesellschaften. *Jahrb. f. wiss. Bot.*, 1928, 68, 233.
- WOEIKOF, A., Probleme der Bodentemperatur. Typen ihrer vertikalen Verbreitung. Verhältnis zur Lufttemperatur. *Meteorol. Ztschr.*, 1904, 50.
- WOLLNY, E., Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Heidelberg 1897/98.
- WRENGER, M., Über den Einfluß des Windes auf die Transpiration der Pflanzen. *Ztschr. f. Bot.*, 1935, Bd. 29.
-

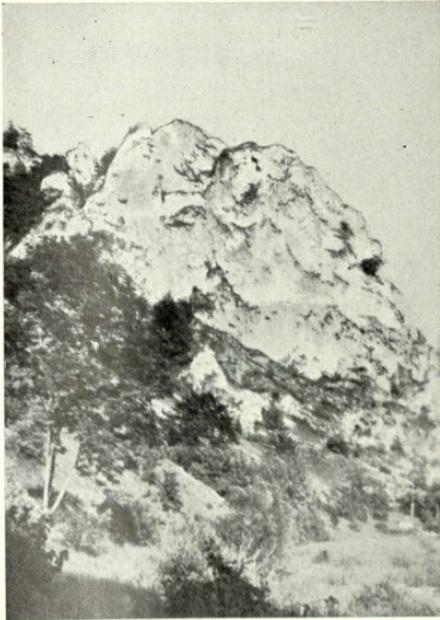


Abb. 1. Der Stiegelefels.

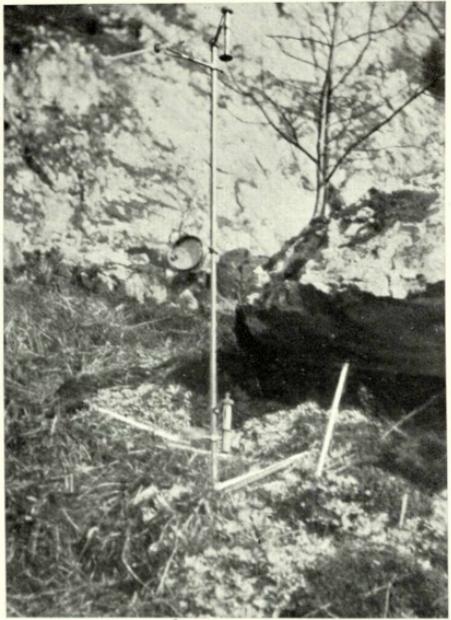


Abb. 4. Die Station 1.

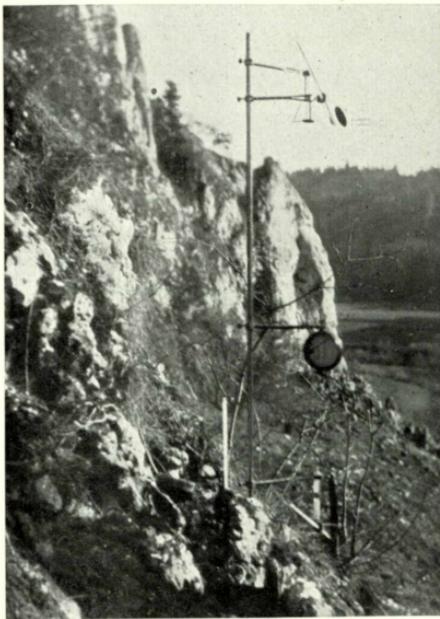


Abb. 5. Die Station 2.

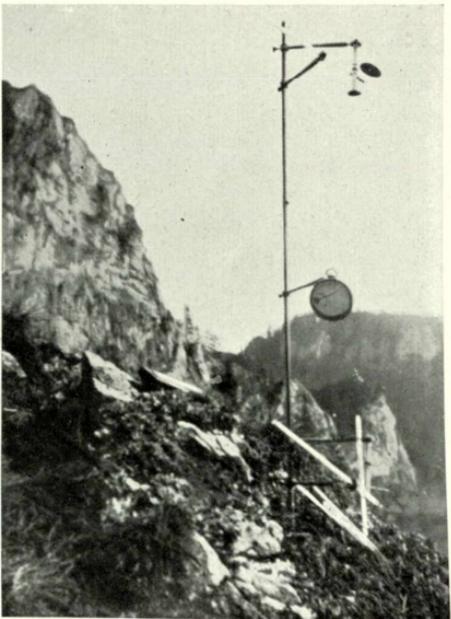


Abb. 6. Die Station 3.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg](#)

Jahr/Year: 1938

Band/Volume: [94](#)

Autor(en)/Author(s): Martin Otto

Artikel/Article: [Ökologische Untersuchungen an den Alpen- und Wärmepflanzen des oberen Donautales 95-162](#)